

PCT

世界知的所有権機関  
国際事務局  
特許協力条約に基づいて公開された国際出願

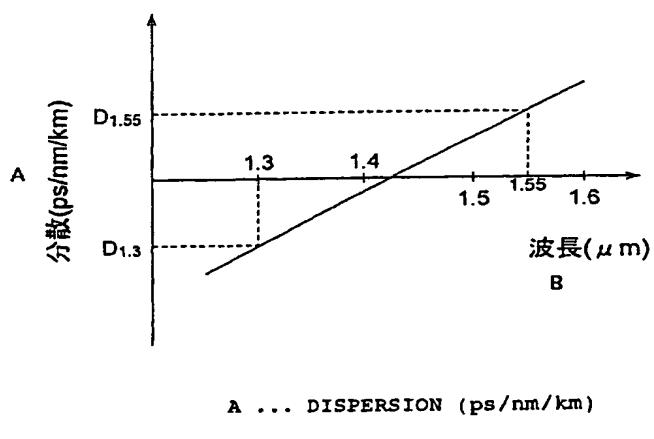
23

|                           |    |                                   |
|---------------------------|----|-----------------------------------|
| (51) 国際特許分類7<br>G02B 6/16 | A1 | (11) 国際公開番号<br>WO00/31573         |
|                           |    | (43) 国際公開日<br>2000年6月2日(02.06.00) |

|   |  |  |
|---|--|--|
| (21) 国際出願番号<br>PCT/JP99/06611   | (22) 国際出願日<br>1999年11月26日(26.11.99)                                    | (74) 代理人<br>弁理士 長谷川芳樹, 外(HASEGAWA, Yoshiki et al.)<br>〒104-0061 東京都中央区銀座二丁目6番12号<br>大倉本館 創英國際特許法律事務所 Tokyo, (JP) |
| (30) 優先権データ<br>特願平10/335797<br>特願平11/93511<br>特願平PCT/JP99/05855   | 1998年11月26日(26.11.98)<br>1999年3月31日(31.03.99)<br>1999年10月22日(22.10.99) | JP<br>JP<br>JP   |
| (71) 出願人 (米国を除くすべての指定国について)<br>住友電気工業株式会社<br>(SUMITOMO ELECTRIC INDUSTRIES, LTD.)[JP/JP]<br>〒541-0041 大阪府大阪市中央区北浜四丁目5番33号<br>Osaka, (JP)  |  | 添付公開書類<br>国際調査報告書  |
| (72) 発明者; および<br>(75) 発明者/出願人 (米国についてのみ)<br>加藤考利(KATO, Takatoshi)[JP/JP]<br>笹岡英資(SASAOKA, Eisuke)[JP/JP]<br>田中 茂(TANAKA, Shigeru)[JP/JP]<br>〒244-8588 神奈川県横浜市栄区田谷町1番地<br>住友電気工業株式会社 横浜製作所内 Kanagawa, (JP) |  |  |

(54) Title: OPTICAL FIBER AND OPTICAL TRANSMISSION SYSTEM INCLUDING THE SAME

(54) 発明の名称 光ファイバ及びそれを含む光伝送システム



FP00-0133  
-00KR-SE  
07.12.28  
ALLOWED

## (57) Abstract

An optical fiber and optical transmission system realizing good optical communication in 1.3 μm and 1.55 μm wavelength bands. The optical fiber is characterized in that the optical fiber has only one zero dispersion wavelength in a wavelength range from 1.20 μm to 1.60 μm, the zero dispersion wavelength is in a wavelength range from 1.37 μm to 1.50 μm, and the optical fiber has a positive dispersion slope at the zero dispersion wavelength. The optical fiber enables good optical communication using signal light in the 1.3 μm and 1.55 μm wavelength bands on both sides of the zero dispersion wavelength.

(57)要約

この発明は、1. 3  $\mu\text{m}$  波長帯及び 1. 5 5  $\mu\text{m}$  波長帯の良好な光通信を可能にする光ファイバ及びそれを含む光伝送システムに関するものである。この発明に係る光ファイバは、波長 1. 2 0  $\mu\text{m}$  ~ 1. 6 0  $\mu\text{m}$  の範囲において零分散波長を 1 つのみ有し、該零分散波長は波長 1. 3 7  $\mu\text{m}$  ~ 1. 5 0  $\mu\text{m}$  の範囲内に存在するとともに、該零分散波長において正の分散スロープを有することを特徴としており、零分散波長を挟んだ 1. 3  $\mu\text{m}$  波長帯及び 1. 5 5  $\mu\text{m}$  波長帯の各信号光を利用した良好な光通信を可能にする。

PCTに基づいて公開される国際出願のパンフレット第一頁に掲載されたPCT加盟国を同定するために使用されるコード(参考情報)

|     |              |     |         |     |                |     |            |
|-----|--------------|-----|---------|-----|----------------|-----|------------|
| A E | アラブ首長国連邦     | DM  | ドミニカ    | K Z | カザフスタン         | R U | ロシア        |
| A L | アルバニア        | EE  | エストニア   | L C | セントルシア         | S D | スーダン       |
| A M | アルメニア        | ES  | スペイン    | L I | リヒテンシュタイン      | S E | スウェーデン     |
| A T | オーストリア       | F I | フィンランド  | L K | スリ・ランカ         | S G | シンガポール     |
| A U | オーストラリア      | F R | フランス    | L R | リベリア           | S I | スロヴェニア     |
| A Z | アゼルバイジャン     | GA  | ガボン     | L S | レント            | S K | スロヴァキア     |
| B A | ボスニア・ヘルツェゴビナ | GB  | 英國      | L T | リトアニア          | S L | シエラ・レオネ    |
| B B | バルバドス        | GD  | グレナダ    | L U | ルクセンブルグ        | S N | セネガル       |
| B E | ベルギー         | GE  | グルジア    | L V | ラトヴィア          | S Z | スウェーデン     |
| B F | ブルガリア        | GH  | ガーナ     | MA  | モロッコ           | T D | チャード       |
| B G | ブルガリア        | GM  | ガンビア    | MC  | モナコ            | T G | トーゴー       |
| B J | ベナン          | GN  | ギニア     | MD  | モルドバ           | T J | タジキスタン     |
| B R | ブラジル         | GW  | ギニア・ビサオ | MG  | マダガスカル         | T Z | タンザニア      |
| B Y | ベラルーシ        | GR  | ギリシャ    | MK  | マケドニア旧ユーゴスラヴィア | T M | トルクメニスタン   |
| C A | カナダ          | HR  | クロアチア   | H U | ハンガリー          | T R | トルコ        |
| C F | 中央アフリカ       | ID  | インドネシア  | I D | インド            | T T | トリニダッド・トバゴ |
| C G | コンゴー         | I E | アイルランド  | M L | マリ             | U A | ウクライナ      |
| C H | スイス          | I L | イスラエル   | M N | モンゴル           | U G | ウガンダ       |
| C I | コートジボアール     | I N | インド     | M R | モーリタニア         | U S | 米国         |
| C M | カーボルーン       | I S | アイスランド  | M W | マラウイ           | U Z | ウズベキスタン    |
| C N | 中国           | I T | イタリア    | M X | メキシコ           | V N | ヴィエトナム     |
| C R | コスタ・リカ       | J P | 日本      | N E | ニジエール          | Y U | ユーロースラビア   |
| C U | キューバ         | KE  | ケニア     | N L | オランダ           | Z A | 南アフリカ共和国   |
| C Y | キプロス         | K G | キルギスタン  | N O | ノルウェー          | Z W | ジンバブエ      |
| C Z | チニタコ         | K P | 北朝鮮     | N Z | ニュー・ジーランド      |     |            |
| D E | ドイツ          | K R | 韓国      | P L | ポーランド          |     |            |
| D K | デンマーク        |     |         | P T | ポルトガル          |     |            |
|     |              |     |         | R O | ハーマニア          |     |            |

## 明細書

## 光ファイバ及びそれを含む光伝送システム

## 技術分野

5 この発明は、光通信における伝送路に適用可能な光ファイバ、及び該光ファイバを含む光伝送システムに関するものである。

## 背景技術

従来から光通信における伝送路として、主に、1. 3  $\mu$ m波長帯 (1280 nm～1320 nm) に零分散波長を有する標準的なシングルモード光ファイバが利用されてきた。このような光ファイバの主材料（シリカ）に起因した伝送損失は、1. 55  $\mu$ m波長帯 (1530 nm～1565 nm) で最小となることが知られており、加えて、Er添加光ファイバを用いた光ファイバ増幅器は、1. 55  $\mu$ m波長帯に零分散波長を有するよう設計された分散シフト光ファイバが、複数波長の信号光を伝送する波長分割多重 (WDM : Wavelength Division Multiplexing) 通信における伝送路に適用されている。なお、信号光を送出する光源については、従来から1. 3  $\mu$ m波長帯の光や1. 55  $\mu$ m波長帯の光の出力を可能にするデバイス技術が確立されている。

20

## 発明の開示

発明者らは、上述の従来技術を検討した結果、以下のような課題を発見した。すなわち、1. 55  $\mu$ m波長帯に零分散波長を有する分散シフト光ファイバを光伝送路として、1. 3  $\mu$ m波長帯の信号光を伝送する場合、分散の絶対値が大きくなることから広帯域でWDM通信を行うことができない。また、このような分散シフト光ファイバで1. 55  $\mu$ m波長帯の信号光を伝送する場合、分散の絶対

5 値が小さくなりすぎることから非線形光学現象の 1 つである四光波混合が発生し易くなる。一方、1. 3  $\mu\text{m}$  波長帯に零分散波長を有する標準的なシングルモード光ファイバを光伝送路として、1. 3  $\mu\text{m}$  波長帯の信号光を伝送する場合も、分散の絶対値が小さくなりすぎることから非線形光学現象の 1 つである四光波混合が発生し易くなる。また、このようなシングルモード光ファイバで 1. 55  $\mu\text{m}$  波長帯の信号光を伝送する場合には、分散の絶対値が大きくなることから広帯域で WDM 通信を行うことができない。

10 これに対し、広い波長帯域に亘って分散の発生を抑える光ファイバの開発が試みられている（例えば、K. Okamoto et al., “Zero total in single-mode optical fibers over an extended spectral range”, Radio Science, Volume 17, Number 1, pages 31-36, January-February 1982 参照）。例えば、クラッド領域とコア領域との比屈折率差を 2. 4 % と大きくし、かつコア領域の径を 3. 5  $\mu\text{m}$  と小さくすることにより、広い波長帯域に亘って分散値の小さな光ファイバが提案されている。しかしながら、このようなクラッド領域とコア領域との比屈折率差が非常に大きい光ファイバは製造が困難であり、伝送損失が大きい。一方で、コア領域の径が小さい光ファイバでは実効断面積が小さくなり、非線形光学現象も発生し易くなる。

15 この発明は、上述のような課題を解決するためになされたものであり、1. 3  $\mu\text{m}$  波長帯の信号光及び 1. 55  $\mu\text{m}$  波長帯の信号光双方の効率的な伝送を可能にする光ファイバ及びそれを含む光伝送システムを提供することを目的としている。

20 この発明に係る光ファイバは、1. 3  $\mu\text{m}$  波長帯の信号光及び 1. 55  $\mu\text{m}$  波長帯の信号光双方の効率的な伝送を可能にする光ファイバであって、波長 1. 20  $\mu\text{m}$  ~ 1. 60  $\mu\text{m}$  の範囲に零分散波長を 1 つのみ有し、該零分散波長において正の分散スロープを有する光ファイバである。なお、この零分散波長は、1. 3  $\mu\text{m}$  波長帯と 1. 55  $\mu\text{m}$  波長帯とに挟まれた、波長 1. 37  $\mu\text{m}$  ~ 1. 50

μmの範囲に存在する。また、上記分散スロープは、上記零分散波長においてその絶対値が  $0.10 \text{ ps/nm}^2/\text{km}$  以下（好ましくは波長  $1.55 \mu\text{m}$  において  $0.06 \text{ ps/nm}^2/\text{km}$  以下）であることが好ましく、少なくとも、波長  $1.30 \mu\text{m} \sim 1.55 \mu\text{m}$  の範囲において単調に変化（例えば、単調増加）している。  
5

このように、当該光ファイバは、OH吸収に起因した伝送損失の増加が認められる波長  $1.38 \mu\text{m}$  を含む波長  $1.37 \mu\text{m} \sim 1.50 \mu\text{m}$  の範囲に零分散波長を有しているため、 $1.3 \mu\text{m}$  波長帯近傍及び  $1.55 \mu\text{m}$  波長帯近傍ではある程度分散が発生する。したがって、これら  $1.3 \mu\text{m}$  波長帯の信号光及び  $1.55 \mu\text{m}$  波長帯の信号光が伝搬する場合でも、当該光ファイバは、四光波混合は発生し難い構造を備える。  
10

なお、增幅帯域が  $1.47 \mu\text{m}$  波長帯にあるツリウム添加ファイバ增幅器を利用する場合、零分散波長は、波長  $1.37 \mu\text{m} \sim 1.43 \mu\text{m}$  の範囲に設定されるのがより好ましい。OH吸収ピーク（ $1.38 \mu\text{m}$ ）の裾に零分散波長を合わせることにより、さらに伝送帯域を広げることができるからである。一方、脱水処理等を施すことにより上記OH吸収ピークを低く抑え、波長  $1.38 \mu\text{m}$  を含む波長帯域を信号光波長帯域として利用する場合には、係る波長帯域において意図的に分散を発生させるべく、零分散波長を、波長  $1.45 \mu\text{m}$  よりも大きく  $1.50 \mu\text{m}$  以下の範囲に設定してもよい。  
15

当該光ファイバにおいて、分散スロープは単調に増加するとともに、その零分散波長における分散スロープの絶対値は  $0.10 \text{ ps/nm}^2/\text{km}$  以下、好ましくは波長  $1.55 \mu\text{m}$  における分散スロープが  $0.06 \text{ ps/nm}^2/\text{km}$  以下であることから、 $1.3 \mu\text{m}$  波長帯における分散及び  $1.55 \mu\text{m}$  波長帯における分散は均一化される。このとき、波長  $1.3 \mu\text{m}$  における分散の絶対値と、波長  $1.55 \mu\text{m}$  における分散の絶対値は、いずれも  $6 \text{ ps/nm/km}$  以上かつ  $12 \text{ ps/nm/km}$  以下である。  
20  
25

以上のように、この発明に係る光ファイバは、1. 3  $\mu\text{m}$  波長帯及び 1. 55  $\mu\text{m}$  波長帯の双方において効率的な光通信を実現する。なお、シングルモードを保証する観点から、伝送路長が数百m以下でカットオフ波長が 1. 3  $\mu\text{m}$  以下である場合、1. 3  $\mu\text{m}$  波長帯及び 1. 55  $\mu\text{m}$  波長帯それぞれにおいて基底モード光のみが伝搬し得るので好ましい。また、比較的長距離（伝送路長が数km以下）の光伝送では、カットオフ波長の距離依存性を考慮すると、カットオフ波長は 1. 45  $\mu\text{m}$  以下（信号光波長よりも長い場合）でも実用上の問題はない。一方、曲げ損失を低減する観点では、カットオフ波長が 1. 0  $\mu\text{m}$  を下回ると、曲げ損失が著しく増加する場合がある。そのため、該カットオフ波長は 1. 05  $\mu\text{m}$  以上、さらには 1. 30  $\mu\text{m}$  以上であるのが好ましい。

さらに、この発明に係る光ファイバは、1. 3  $\mu\text{m}$  波長帯及び 1. 55  $\mu\text{m}$  波長帯において効率的な光伝送を可能にすべく、波長 1. 55  $\mu\text{m}$  において、直徑 3.2 mm で巻かれたときに 1 ターン当たり 0.5 dB 以下、好ましくは 0.06 dB 以下となる曲げ損失を有するとともに、波長 1. 55  $\mu\text{m}$  において 45  $\mu\text{m}^2$  以上、好ましくは 49  $\mu\text{m}^2$  よりも大きい実効断面積  $A_{\text{eff}}$  を有する。また、当該光ファイバは、波長 1. 38  $\mu\text{m}$  における OH 吸収に起因した伝送損失の増加量が 0.1 dB/km 以下である。特に、波長 1. 38  $\mu\text{m}$  における OH 吸収に起因した伝送損失の増加量が 0.1 dB/km 以下であれば、該波長 1. 38  $\mu\text{m}$  近傍の波長帯域を信号光波長帯域に利用することも可能である。この場合は、意図的に該波長 1. 38  $\mu\text{m}$  近傍の波長帯域に分散を発生させるべく（四光波混和を抑制するため）、零分散波長を波長 1. 45  $\mu\text{m}$  よりも大きくかつ 1. 50  $\mu\text{m}$  以下の範囲内に設定してもよい。

なお、実効断面積  $A_{\text{eff}}$  は、特開平 8-248251 号公報 (EP 0 724 171 A2) に示されたように、以下の (1) 式で与えられる。

$$A_{\text{eff}} = 2\pi \left( \int_0^{\infty} E^2 r dr \right)^2 / \left( \int_0^{\infty} E^4 r dr \right) \dots (1)$$

ここで、 $E$  は伝搬光に伴う電界、 $r$  はコア中心からの径方向の距離である。

この発明に係る光ファイバは、純シリカ（故意には不純物が添加されていないシリカ）の屈折率を基準とした比屈折率差の最大値が 1 % 以下であって最小値が -0.5 % 以上である屈折率プロファイルを有する。このような屈折率プロファイルにおいて、例えば Ge 元素が添加された高屈折率領域の、純シリカに対する比屈折率差は 1 % 以下であり、例えば F 元素が添加された低屈折率領域の、純シリカに対する比屈折率差は -0.5 % 以上であることから、製造（不純物添加による屈折率制御）が容易であり、また、伝送損失を小さくすることが可能になる。なお、純シリカの屈折率を基準とした比屈折率差の最小値が -0.2 % 以上、より好ましくは -0.15 % よりも大きいければ、当該光ファイバの製造を容易にする点でさらに好ましい。

上述のような諸特性を有する光ファイバは、種々の構成によって実現できる。すなわち、当該光ファイバの第 1 構造は、所定軸に沿って伸びた、所定の屈折率を有するコア領域と、該コア領域の外周に設けられたクラッド領域を備えた構造により実現できる。この第 1 構造の光ファイバは、ディプレストクラッド構造をさらに備えてもよい。ディプレストクラッド構造は、上記クラッド領域を、上記コア領域の外周に設けられ、該コア領域よりも低い屈折率を有する内側クラッドと、この内側クラッドの外周に設けられ、該内側クラッドよりも高くかつコア領域よりも低い屈折率を有する外側クラッドにより構成することにより実現される。

当該光ファイバの第 2 構造も、第 1 構造と同様にコア領域と該コア領域の外周に設けられたクラッド領域とを備える。ただし、上記コア領域は、所定の屈折率を有する第 1 コアと、該第 1 コアの外周に設けられかつ該第 1 コアよりも低い屈折率を有する第 2 コアとから構成される。この第 2 構造の光ファイバがディプレストクラッド構造を備える場合には、上記クラッド領域は、上記第 2 コアの外周に接しつつ該第 2 コアよりも低い屈折率を有する内側クラッドと、該内側クラッド

の外周に設けられ、該内側クラッドよりも高くかつ該第2コアよりも低い屈折率を有する外側クラッドとで構成される。

当該光ファイバの第3構造は、第1構造と同様に所定軸に沿って伸びたコア領域と、該コア領域の外周に設けられたクラッド領域を備え、特に、該コア領域は、  
5 所定の屈折率を有する第1コアと、該第1コアの外周に設けられ該第1コアよりも低い屈折率を有する第2コアと、該第2コアの外周に設けられ該第2コアよりも高い屈折率を有する第3コアとを備える。ただし、この第3構造の光ファイバ  
10 がディプレストクラッド構造を備える場合には、上記クラッド領域は、上記第3コアの外周に接しあつ該第3コアよりも低い屈折率を有する内側クラッドと、該内側クラッドの外周に設けられ、該内側クラッドよりも高くかつ該第3コアよりも低い屈折率を有する外側クラッドとで構成される。

上述のような第3構造の適用により、特に波長 $1.55\mu\text{m}$ において $0.06\text{ ps/nm}^2/\text{km}$ 以下の低分散スロープを有する光ファイバが得やすくなる。

さらに、当該光ファイバの第4構造も、所定軸に沿って伸びたコア領域と、該コア領域の外周に設けられたクラッド領域とを備え、特に、該コア領域は、所定の屈折率を有する第1コアと、該第1コアの外周に設けられ該第1コアよりも高い屈折率を有する第2コアとを備える。この第4構造の光ファイバがディプレストクラッド構造を備える場合には、上記クラッド領域は、上記第2コアの外周に接しあつ該第2コアよりも低い屈折率を有する内側クラッドと、該内側クラッドの外周に設けられ、該内側クラッドよりも高くかつ該第2コアよりも低い屈折率を有する外側クラッドとで構成される。  
20

当該光ファイバの第5構造は、所定軸に沿って伸びたコア領域と、該コア領域の外周に設けられたクラッド領域とを備え、特に、該コア領域は、所定の屈折率を有する第1コアと、該第1コアの外周に設けられ該第1コアよりも高い屈折率を有する第2コアと、該第2コアの外周に設けられ該第2コアよりも低い屈折率を有する第3コアと、該第3コアの外周に設けられ該第3コアよりも高い屈折率  
25

を有する第4コアとからなるコア領域とを備える。この第5態様に光ファイバにおいて、上記クラッド領域は、上記第4コアよりも低い屈折率を有する。

この発明に係る光伝送システムは、上述のような構造を備えた光ファイバにより実現される。具体的に、この発明に係る光伝送システムは、1. 3  $\mu\text{m}$  波長帯の第1光を出力する第1送信器と、1. 55  $\mu\text{m}$  波長帯の第2の光を出力する第2送信器と、該第1送信器から出力された第1光及び該第2送信器から出力された第2光とを合波する合波器と、該第1合波器にその一端が光学的に接続された、上述の構造を備えた光ファイバとを、少なくとも備える。この構成により、当該光ファイバは、合波器により合波された第1光及び第2光それぞれを伝送する。以上のような構成を備えた光伝送システムによれば、第1送信器から出力された1. 3  $\mu\text{m}$  波長帯の第1光は、合波器を経て上記光ファイバに入射され、該光ファイバ内を受信系に向かって伝搬する。一方、第2の送信器から出力された1. 55  $\mu\text{m}$  波長帯の第2の光は、合波器を経て光ファイバに入射され、該光ファイバ内を受信系に向かって伝搬する。光伝送路に適用される光ファイバは、上述のように、また、1. 3  $\mu\text{m}$  波長帯及び1. 55  $\mu\text{m}$  波長帯のいずれにおいても効率的な光通信を可能にする構造を備えており、上述のような特殊構造を備えた光ファイバが適用されることにより、当該光伝送システムは大容量通信を可能にする。

#### 図面の簡単な説明

図1Aは、この発明に係る光ファイバの、波長に対する伝送損失特性を示すグラフであり、図1Bは、この発明に係る光ファイバの、波長に対する分散特性を示すグラフである。

図2Aは、この発明に係る光ファイバの第1及び第13実施例の断面構造を示す図であり、図2Bは、図2Aに示された第1実施例に係る光ファイバの屈折率プロファイルである。

図3は、第2実施例に係る光ファイバの屈折率プロファイルである。

図4は、第3、第15及び第17実施例に係る光ファイバの屈折率プロファイルである。

図5は、第4実施例に係る光ファイバの屈折率プロファイルである。

図6は、第5、第16、第18、第19及び第21実施例に係る光ファイバの  
5 屈折率プロファイルである。

図7は、第6、第20及び第22実施例に係る光ファイバの屈折率プロファイルである。

図8は、第7及び第8実施例に係る光ファイバの屈折率プロファイルである。

図9は、第9及び第10実施例に係る光ファイバの屈折率プロファイルであ  
10 る。

図10は、第11及び第12実施例に係る光ファイバの屈折率プロファイルで  
ある。

図11は、図2B、図3～図10に示されたような種々の屈折率プロファイル  
を有する第1～第13実施例に係る光ファイバの諸特性をまとめた表である。

図12は、第14～第22実施例に係る光ファイバの諸特性をまとめた表であ  
15 る。

図13は、第1実施例に係る光ファイバの、波長に対する分散特性を示すグラ  
フである。

図14は、脱水処理が不十分であった第1実施例に係る光ファイバの、波長に  
20 対する伝送損失特性を示すグラフである。

図15は、脱水処理が十分に行われた第1及び第13実施例に係る光ファイバ  
の、波長に対する伝送損失特性を示すグラフである。

図16は、脱水処理が不十分であった第13実施例に係る光ファイバの、波長  
に対する伝送損失特性を示すグラフである。

図17Aは、主に第18～第22実施例について、波長1.55μmにおける  
25 実効断面積 $A_{eff}$ と分散スロープとの関係を示すグラフであり、図17Bは、主

な実施例について、波長  $1.55 \mu\text{m}$  におけるカットオフ波長  $\lambda_c$  と直径  $3.2 \text{ mm}$  で曲げられたときの 1 ターン当たりの曲げ損失との関係を示すグラフである。

図 18 A は、この発明に係る光伝送システムの概略構成を示す図であり、図 18 B は、この発明に係る光伝送システムの変形例を示す図である。

5

### 発明を実施するための最良の形態

以下、この発明に係る光ファイバ及び光伝送システムの各実施例を、図 1 A～図 2 B、図 3～16、及び図 17 A～図 18 B を用いて説明する。なお、図面中の同一要素には同一の符号を付し、重複する説明を省略する。

10 まず、図 1 A は、この発明に係る光ファイバの、波長に対する伝送損失特性を示すグラフであり、図 1 B は、この発明に係る光ファイバの、波長に対する分散特性を示すグラフである。

この発明に係る光ファイバは、零分散波長を波長  $1.20 \mu\text{m} \sim 1.60 \mu\text{m}$  の範囲に 1 つのみ有し、該零分散波長が波長  $1.37 \mu\text{m} \sim 1.50 \mu\text{m}$  の範囲内に存在する。図 1 A のグラフに示されたように、OH 吸収に起因した伝送損失が波長  $1.38 \mu\text{m}$  付近で発生するので（例えば、KAZUHIRO NOGUCHI et al., “Loss Increase for Optical Fibers Exposed to Hydrogen Atmosphere”, JOURNAL OF LIGHTWAVE TECHNOLOGY, VOL. LT-3, NO. 2, APRIL 1985 参照）、この波長近傍の信号光の光通信への利用は必ずしも好ましくない。そこで、この発明に係る光ファイバでは、図 1 B に示されたように、OH 吸収に起因した伝送損失が生じる波長  $1.38 \mu\text{m}$  を含む波長  $1.37 \mu\text{m} \sim 1.43 \mu\text{m}$  の範囲内に零分散波長が設定され、逆に、該波長範囲を挟む  $1.3 \mu\text{m}$  波長帯近傍及び  $1.55 \mu\text{m}$  波長帯近傍への零分散波長の設定が避けられている。なお、波長  $1.38 \mu\text{m}$  を含むこの波長帯を信号光波長帯域として利用する場合には、零分散波長を  $1.45 \mu\text{m}$  よりも大きくかつ  $1.50 \mu\text{m}$  以下の範囲内に設定してもよい。このように、この発明に係る光ファイバは、零分散波長を含む所定の波長帯域を避

けた 1. 3  $\mu\text{m}$  波長帯及び 1. 5 5  $\mu\text{m}$  波長帯が信号光波長帯域として利用されることにより、これら波長帯域において意図的に分散を生じさせ、逆に四光波混合の発生を効果的に抑制している。上述のように、1. 3 7  $\mu\text{m}$  ~ 1. 4 3  $\mu\text{m}$  の範囲内に零分散波長を設定すると、增幅帯域が 1. 4 7  $\mu\text{m}$  波長帯にあるツリウム添加ファイバ增幅器を利用することによりさらに伝送帯域を広げができる。一方、脱水処理等を施すことにより上記 O H 吸収ピークを低く抑え、波長 1. 3 8  $\mu\text{m}$  を含む波長帯域を信号光波長帯域として利用する場合には、係る波長帯域において意図的に分散を発生させるべく、零分散波長を波長 1. 4 5  $\mu\text{m}$  よりも大きく 1. 5 0  $\mu\text{m}$  以下の範囲に設定してもよい。

また、この発明に係る光ファイバは、上記零分散波長における分散スロープの絶対値が 0. 1 0  $\text{ps/nm}^2/\text{km}$  以下（好ましくは波長 1. 5 5  $\mu\text{m}$  において 0. 0 6  $\text{ps/nm}^2/\text{km}$  以下）であり、1. 3  $\mu\text{m}$  波長帯及び 1. 5 5  $\mu\text{m}$  波長帯それぞれにおける分散の均一化が実現できる。このとき、当該光ファイバでは、波長 1. 3  $\mu\text{m}$  における分散  $D_{1.3}$  の絶対値、及び波長 1. 5 5  $\mu\text{m}$  における分散  $D_{1.55}$  の絶対値それが、6  $\text{ps/nm/km}$  以上 1 2  $\text{ps/nm/km}$  以下である。1. 3  $\mu\text{m}$  波長帯に零分散波長を有する標準的なシングルモード光ファイバの、1. 5 5  $\mu\text{m}$  波長帯における分散値が 1 7  $\text{ps/nm/km}$  程度であることを考慮しても、1. 3  $\mu\text{m}$  波長帯及び 1. 5 5  $\mu\text{m}$  波長帯それにおける当該光ファイバの分散の絶対値は十分小さいので（1 2  $\text{ps/nm/km}$  以下）、光通信の利用により適している。一方、これら波長帯域では適度に分散が発生するので（6  $\text{ps/nm/km}$  以上）、四光波混合の発生を効果的に避けることができる。

さらに、この発明に係る光ファイバは、伝送路長が数百 m 以下でカットオフ波長が 1. 3  $\mu\text{m}$  以下であるのがシングルモードを保証する観点から好ましい。この場合、1. 3  $\mu\text{m}$  波長帯及び 1. 5 5  $\mu\text{m}$  波長帯それにおいて基底モード光のみが伝搬し得る。比較的長距離（伝送路長が数 km 以下）の伝送では、カッ

トオフ波長の距離依存性を考慮すると、カットオフ波長は  $1.45 \mu\text{m}$  以下でもよい。なお、この明細書において、カットオフ波長は C C I T T 規格に規定されているように、長さ  $2\text{ m}$  の光ファイバを半径  $140\text{ mm}$  で 1 ターンだけ巻いた状態で測定された L P 1 1 モードのカットオフ波長である。また、曲げ損失を低減する観点では、カットオフ波長が  $1.0 \mu\text{m}$  を下回ると、曲げ損失が著しく増加する場合がある。そのため、該カットオフ波長は  $1.05 \mu\text{m}$  以上、さらには  $1.30 \mu\text{m}$  以上であるのが好ましい。

以上のように、この発明に係る光ファイバは、 $1.3 \mu\text{m}$  波長帯及び  $1.55 \mu\text{m}$  波長帯の双方を避けた波長範囲に零分散波長を設定し、かつ各波長帯域における分散値の小さなシングルモード光ファイバであるため、複数の波長帯域を利用した光通信システムの伝送媒体に適している。

この発明に係る光ファイバは、波長  $1.30 \mu\text{m} \sim 1.55 \mu\text{m}$  の範囲において分散スロープが単調に変化するのが好ましい（図 1 B に示されたケースでは単調増加）。この場合、波長  $1.20 \mu\text{m} \sim 1.60 \mu\text{m}$  の範囲内に零分散波長を 1 つのみ設定することが可能であり、加えて、 $1.3 \mu\text{m}$  波長帯及び  $1.55 \mu\text{m}$  波長帯それぞれにおける分散が零に近づくことがない点でも好ましい（分散が零に近づくと非線形光学現象が生じ易くなる）。

この発明に係る光ファイバは、直径  $3.2\text{ mm}$  で巻かれたときの波長  $1.55 \mu\text{m}$  における曲げ損失が  $0.5 \text{ dB/ターン}$  以下、さらには  $0.06 \text{ dB/ターン}$  以下であるのが好ましい。この場合、曲げ損失が十分に小さいので、ケーブル化等に起因した損失増加を効果的に抑制することができる。なお、この曲げ損失 (dB/ターン) は、直径  $3.2\text{ mm}$  のマンドレル (mandrel) に巻き付けられた光ファイバについて、波長  $1.55 \mu\text{m}$  の光の伝送損失を 1 ターン当たりの損失値に換算した値である。

この発明に係る光ファイバは、波長  $1.55 \mu\text{m}$  における実効断面積  $A_{\text{eff}}$  が  $4.5 \mu\text{m}^2$  以上、さらには  $4.9 \mu\text{m}^2$  よりも大きいことが好ましい。この値は、 $1.$

55  $\mu\text{m}$  波長帯に零分散波長を有する従来の分散シフト光ファイバにおける実効断面積と同等以上であり、単位断面積当たりの光強度が小さくなるので、四光波混合等の非線形光学現象の発生が効果的に抑制される。

この発明に係る光ファイバは、波長 1.38  $\mu\text{m}$  における O H 吸収に起因した  
5 伝送損失の増加量  $\alpha$  が 0.1 dB/km 以下であることが好ましい。光通信に適用可能な波長帯域が広くなり、さらに大容量光通信が可能となるからである。なお、波長 1.38  $\mu\text{m}$  を含む波長帯域を信号光波長帯域として利用する場合には、  
非線形光学現象の発生を抑制するため、該波長帯域を避けた波長 1.45  $\mu\text{m}$  よりも大きくかつ波長 1.50  $\mu\text{m}$  以下の範囲内に零分散波長を設計するのが好ま  
10 しい。

この発明に係る光ファイバは、純シリカ（故意には不純物が添加されていないシリカ）の屈折率を基準とした比屈折率差の最大値が 1% 以下であって最小値が  
-0.5% 以上である屈折率プロファイルを有するのが好ましい。例えば Ge 元素が添加される高屈折率領域の、純シリカに対する比屈折率差は 1% 以下であって、例えば F 元素が添加される低屈折率領域の、純シリカに対する比屈折率差は  
-0.5% 以上であるので、製造が比較的容易であり、また、伝送損失の小さな光伝送媒体が得られる。なお、より製造を容易にするためには、純シリカの屈折率を基準とした比屈折率差の最小値は -0.2% 以上、より好ましくは -0.1  
15 5% よりも大きいことが好ましい。

20 次に、この発明に係る光ファイバの第 1 ~ 22 実施例を図 2A、図 2B、及び図 3 ~ 図 10 を用いて説明する。

#### （第 1 実施例）

図 2A は、第 1 実施例に係る光ファイバ 100 の断面構造を示す図であり、図 2B は、図 1A に示された光ファイバ 100 の屈折率プロファイルである。この第 1 実施例に係る光ファイバ 100 は、所定軸に沿って伸びた屈折率  $n_1$  を有する外径 2a のコア領域 110 と、該コア領域 110 の外周に設けられた屈折率  $n$   
25

<sub>2</sub>を(< n<sub>1</sub>)有するクラッド領域120とを備える。なお、コア領域110の屈折率は、クラッド領域120の屈折率よりも大きい。コア領域110の外径2aは5.2μmであり、クラッド領域120を基準としたコア領域110の比屈折率差△<sub>1</sub>は0.55%である。このような光ファイバは、シリカをベースとして、例えば、コア領域110にGe元素を添加することにより得られる。

図2Bに示された屈折率プロファイル150の横軸は、図2A中の線Lに沿った、コア領域110の中心軸に対して垂直な断面上の各部位に相当している。したがって、図2Bの屈折率プロファイル150において、領域151はコア領域110の線L上の各部位における屈折率、領域152はクラッド領域120の線L上の各部位における屈折率をそれぞれ示している。

なお、最外郭のクラッド領域120に対するコア領域110の比屈折率差△<sub>1</sub>は、以下のように定義される。

$$\Delta_1 = (n_1 - n_2) / n_2$$

ここで、n<sub>1</sub>はコア領域110の屈折率、n<sub>2</sub>はクラッド領域120の屈折率である。また、この明細書では、比屈折率差△は百分率で表示されており、上記定義式における各領域の屈折率は順不同である。したがって、△が負の値の場合、対応する領域の屈折率はクラッド領域120の屈折率よりも低いことを意味する。

この第1実施例に係る光ファイバの零分散波長は1.44μmであり、波長1.20μm～1.60μmの範囲には該零分散波長が1つのみ存在している。該零分散波長における分散スロープは0.060ps/nm<sup>2</sup>/km、波長1.55μmにおける分散スロープは0.054ps/nm<sup>2</sup>/km、カットオフ波長が0.96μmである。また、少なくとも波長1.30μm～1.55μmの範囲において分散スロープは単調に増加しており、具体的には、波長1.20μmにおける分散が-18.5ps/nm/km、波長1.30μmにおける分散が-9.6ps/nm/km、波長1.45μmにおける分散が0.6ps/nm/km、波長1.55μmにおける分散が6.2ps/nm/km、波長1.60

$\mu\text{m}$ における分散が  $8.8 \text{ ps/nm/km}$  である。さらに、直径  $3.2 \text{ mm}$  で巻まれたときの波長  $1.55 \mu\text{m}$  における曲げ損失は 1 ターン当たり  $0.06 \text{ dB}$  であり、波長  $1.55 \mu\text{m}$  における実効断面積  $A_{\text{eff}}$  は  $49.1 \mu\text{m}^2$  である。

(第 2 実施例)

5 次に、図 3 は、第 2 実施例に係る光ファイバの屈折率プロファイルである。この第 2 実施例に係る光ファイバの基本構造は、図 2 A に示された第 1 実施例に類似しており、図 2 A に示されたクラッド領域 120 がディプレストクラッド構造を有する点が第 1 実施例と異なっている。図 2 A を参照して説明すると、第 2 実施例に係る光ファイバは、屈折率  $n_1$  を有する外径  $2a$  のコア領域 110 と、該 10 コア領域 110 の外周に設けられたクラッド領域 120 を備えている。該クラッド領域 120 は、コア領域 110 に接して設けられかつ屈折率  $n_3$  ( $< n_1$ ) を有する外径  $2b$  の内側クラッドと、該内側クラッドの外周に設けられた屈折率  $n_2$  ( $< n_1, > n_3$ ) を有する外側クラッドにより構成されている。なお、コア領域 110 の外径  $2a$  は  $5.2 \mu\text{m}$  であり、内側クラッドの外径  $2b$  は  $10.9 \mu\text{m}$  である。また、外側クラッド領域の屈折率  $n_2$  を基準とした、コア領域の比屈折率差  $\Delta_1$  ( $= (n_1 - n_2) / n_2$ ) は  $0.55\%$ 、内側クラッドの比屈折率差  $\Delta_3$  ( $= (n_3 - n_2) / n_2$ ) は  $-0.05\%$  である。このような光ファイバは、シリカをベースとして、例えば、コア領域に Ge 元素が添加され、内側クラッドに F 元素が添加されることにより得られる。

20 図 3 に示された屈折率プロファイル 250 と図 2 A に示された断面構造との関係について説明すると、該屈折率プロファイル 250 の横軸は、図 2 A 中の線 L に沿った、コア領域 110 の中心軸に対して垂直な断面上の各部位に相当している。したがって、図 3 の屈折率プロファイル 250 において、領域 251 はコア領域 110 の線 L 上の各部位における屈折率、領域 252 はクラッド領域 120 を構成する内側クラッドの線 L 上の各部位における屈折率、領域 253 はクラッド領域 120 を構成する外側クラッドの線 L 上の各部位における屈折率を、それ 25

それ示している。

この第2実施例に係る光ファイバの零分散波長は1.46μmであり、波長1.20μm～1.60μmの範囲内には該零分散波長が1つのみ存在している。該零分散波長における分散スロープは0.053ps/nm<sup>2</sup>/km、波長1.55μmにおける分散スロープは0.049ps/nm<sup>2</sup>/km、カットオフ波長は0.93μmである。また、少なくとも波長1.30μm～1.55μmの範囲において分散スロープは単調に増加しており、具体的には、波長1.20μmにおける分散が-18.5ps/nm/km、波長1.30μmにおける分散が-10.1ps/nm/km、波長1.45μmにおける分散が-0.5ps/nm/km、波長1.55μmにおける分散が4.3ps/nm/km、波長1.60μmにおける分散が6.7ps/nm/kmである。さらに、直径3.2mmで巻かれたときの波長1.55μmにおける曲げ損失は、1ターン当たり0.20dBであり、波長1.55μmにおける実効断面積A<sub>eff</sub>は47.2μm<sup>2</sup>である。

### 15 (第3実施例)

図4は、第3実施例に係る光ファイバの屈折率プロファイルである。この第2実施例に係る光ファイバの基本構造も、図2Aに示された第1実施例に類似しており、図2Aに示されたコア領域110が第1コアと第2コアで構成された点が第1実施例と異なっている。図2Aを参照して第3実施例に係る光ファイバの構造を説明すると、コア領域110は、光軸中心に最大屈折率n<sub>1</sub>を有する外径2aの第1コアと、該第1コアの外周に設けられかつ屈折率n<sub>2</sub>(< n<sub>1</sub>)を有する外径2bの第2コアとを備える。第2コアの外周に設けられたクラッド領域120の屈折率はn<sub>3</sub>(< n<sub>2</sub>)である。

図4に示された屈折率プロファイル350と図2Aに示された断面構造との関係について説明すると、該屈折率プロファイル350の横軸は、図2A中の線Lに沿った、コア領域110の中心軸に対して垂直な断面上の各部位に相当してい

る。したがって、図4の屈折率プロファイル350において、領域351はコア領域110を構成する第1コアの線L上の各部位における屈折率、領域352はコア領域110を構成する第2コアの線L上の各部位における屈折率、領域353はクラッド領域120の線L上の各部位における屈折率を、それぞれ示している。なお、コア領域110を構成する第1コアの外径2aは6.4μmであり、第2コア領域の外径2bは16.0μmである。クラッド領域120の屈折率n<sub>3</sub>を基準とした、第1コアの比屈折率差Δ<sub>1</sub>(=(n<sub>1</sub>-n<sub>3</sub>)/n<sub>3</sub>)は0.60%、第2コアの比屈折率差Δ<sub>2</sub>(=(n<sub>2</sub>-n<sub>3</sub>)/n<sub>3</sub>)は0.10%である。このような光ファイバは、シリカをベースとして、例えば、第1コア及び第2コアそれに適切な量のGe元素が添加されることにより得られる。

この第3実施例に係る光ファイバの零分散波長は1.42μmであり、波長1.20μm～1.60μmの範囲内には該零分散波長が1つのみ存在している。該零分散波長における分散スロープは0.079ps/nm<sup>2</sup>/km、波長1.55μmにおける分散スロープは0.070ps/nm<sup>2</sup>/km、カットオフ波長は1.19μmである。また、少なくとも波長1.30μm～1.55μmの範囲において分散スロープは単調に増加しており、具体的には、波長1.20μmにおける分散が-20.8ps/nm/km、波長1.30μmにおける分散が-10.6ps/nm/km、波長1.45μmにおける分散が2.1ps/nm/km、波長1.55μmにおける分散が9.3ps/nm/km、波長1.60μmにおける分散が12.8ps/nm/kmである。さらに、直径32mで巻まれたときの波長1.55μmにおける曲げ損失は、1ターン当たり0.006dBであり、波長1.55μmにおける実効断面積A<sub>eff</sub>は63.6μm<sup>2</sup>である。

#### (第4実施例)

図5は、第4実施例に係る光ファイバの屈折率プロファイルである。この第4実施例に係る光ファイバも、図2Aに示された第1実施例と同様にコア領域11

0とクラッド領域120を備える。ただし、クラッド領域120がディプレスト構造を備える点で上述の第3実施例と異なる。図2Aを参照して第4実施例に係る光ファイバの構造を説明すると、第3実施例と同様に、コア領域110は、光軸中心に最大屈折率 $n_1$ を有する外径2aの第1コアと、該第1コアの外周に設けられかつ屈折率 $n_2$  ( $n_1 > n_2$ ) を有する外径2bの第2コアとを備えている。クラッド領域120は、第2コアの外周に接して設けられかつ屈折率 $n_4$  ( $n_2 > n_4$ ) を有する外径2cの内側クラッドと、該内側クラッドの外周に設けられかつ屈折率 $n_3$  ( $n_4 < n_3 < n_2$ ) を有する外側クラッドを備える。

図5に示された屈折率プロファイル450と図2Aに示された断面構造との関係について説明すると、該屈折率プロファイル450の横軸は、図2A中の線Lに沿った、コア領域110の中心軸に対して垂直な断面上の各部位に相当している。したがって、図5の屈折率プロファイル450において、領域451はコア領域110を構成する第1コアの線L上の各部位における屈折率、領域452はコア領域110を構成する第2コアの線L上の各部位における屈折率、領域453はクラッド領域120を構成する内側クラッドの線L上の各部位における屈折率、領域454はクラッド領域120を構成する外側クラッドの線L上の各部位における屈折率を、それぞれ示している。なお、第1コアの外径2aは6.3μm、第2コアの外径2bは16.1μm、内側クラッドの外径2cは28.8μmである。純シリカの外側クラッドの屈折率を基準とした、第1コアの比屈折率差 $\Delta_1$  ( $= (n_1 - n_3) / n_3$ ) は0.60%、第2コアの比屈折率差 $\Delta_2$  ( $= (n_2 - n_3) / n_3$ ) は0.10%、内側クラッドの比屈折率差 $\Delta_4$  ( $= (n_4 - n_3) / n_3$ ) は-0.05%である。このような光ファイバは、シリカをベースとして、例えば、第1コア及び第2コアそれぞれに適切な量のGe元素を添加し、内側クラッドにF元素を添加することにより得られる。

この第4実施例に係る光ファイバの零分散波長は1.41μmであり、波長1.20μm～1.60μmの範囲には該零分散波長が1つのみ存在している。該零

分散波長における分散スロープは  $0.081 \text{ ps/nm}^2/\text{km}$ 、波長  $1.55 \mu\text{m}$ における分散スロープは  $0.070 \text{ ps/nm}^2/\text{km}$ 、カットオフ波長は  $1.15 \mu\text{m}$ である。また、少なくとも波長  $1.30 \mu\text{m} \sim 1.55 \mu\text{m}$ の範囲において分散スロープは単調に増加しており、具体的には、波長  $1.20 \mu\text{m}$ における分散が  $-20.3 \text{ ps/nm/km}$ 、波長  $1.30 \mu\text{m}$ における分散が  $-9.9 \text{ ps/nm/km}$ 、波長  $1.45 \mu\text{m}$ における分散が  $3.1 \text{ ps/nm/km}$ 、波長  $1.55 \mu\text{m}$ における分散が  $10.2 \text{ ps/nm/km}$ 、波長  $1.60 \mu\text{m}$ における分散が  $13.7 \text{ ps/nm/km}$ である。さらに、直径  $3.2 \text{ mm}$ で巻かれたときの波長  $1.55 \mu\text{m}$ における曲げ損失は、1ターン当たり  $0.04 \text{ dB}$ であり、波長  $1.55 \mu\text{m}$ における実効断面積  $A_{\text{eff}}$  は  $62.0 \mu\text{m}^2$ である。

#### (第5実施例)

図6は、第5実施例に係る光ファイバの屈折率プロファイルである。この第5実施例に係る光ファイバの基本構造も、図2Aに示された第1実施例に類似しており、コア領域110とクラッド領域120から構成されている。図2Aに示された第5実施例に係る光ファイバの構造を説明すると、クラッド領域120に囲まれたコア領域110は、所定軸に沿って伸びた屈折率  $n_1$  を有する外径2aの第1コアと、該第1コアの外周に設けられかつ屈折率  $n_2$  ( $< n_1$ ) を有する外径2bの第2コアと、該第2コアの外周に設けられかつ屈折率  $n_3$  ( $> n_2, < n_1$ ) を有する外径2cの第3コアとを備える。第3コアの外周に設けられたクラッド領域120の屈折率は、 $n_4$  ( $< n_1, < n_3$ ) である。

図6に示された屈折率プロファイル550と図2Aに示された断面構造との関係について説明すると、該屈折率プロファイル550の横軸は、図2A中の線Lに沿った、コア領域110の中心軸に対して垂直な断面上の各部位に相当している。したがって、図6の屈折率プロファイル550において、領域551はコア領域110を構成する第1コアの線L上の各部位における屈折率、領域552は

コア領域 110 を構成する第 2 コアの線 L 上の各部位における屈折率、領域 553 はコア領域 110 を構成する第 3 コアの線 L 上の各部位における屈折率、領域 554 はクラッド領域 120 の線 L 上の各部位における屈折率を、それぞれ示している。なお、第 1 コアの外径 2a は 5.3 μm、第 2 コアの外径 2b は 10.0 μm、第 3 コア領域の外径 2c は 16.6 μm である。クラッド領域の屈折率を基準とした、第 1 コアの比屈折率差  $\Delta_1$  ( $= (n_1 - n_4) / n_4$ ) は 0.58%、第 2 コアの比屈折率差は  $n_2 = n_4$  に設定されているため 0%、第 3 コアの比屈折率差  $\Delta_3$  ( $= (n_3 - n_4) / n_4$ ) は 0.14% である。このような光ファイバは、シリカをベースとして、例えば、第 1 コア及び第 3 コアそれぞれに適切な量の Ge 元素を添加することにより得られる。

この第 5 実施例に係る光ファイバの零分散波長は 1.48 μm であり、波長 1.20 μm～1.60 μm の範囲には該零分散波長が 1 つのみ存在している。該零分散波長における分散スロープは 0.064 ps/nm<sup>2</sup>/km、波長 1.55 μm における分散スロープは 0.064 ps/nm<sup>2</sup>/km、カットオフ波長は 1.24 μm である。また、少なくとも波長 1.30 μm～1.55 μm の範囲において分散スロープは単調に増加しており、具体的には、波長 1.20 μm における分散が -20.3 ps/nm/km、波長 1.30 μm における分散が -11.9 ps/nm/km、波長 1.45 μm における分散が -1.9 ps/nm/km、波長 1.55 μm における分散が 4.8 ps/nm/km、波長 1.60 μm における分散が 8.0 ps/nm/km である。さらに、直径 3.2 mm で巻かれたときの波長 1.55 μm における曲げ損失は、1 ターン当たり 0.0008 dB であり、波長 1.55 μm における実効断面積  $A_{eff}$  は 53.9 μm<sup>2</sup> である。

#### (第 6 実施例)

図 7 は、第 6 実施例に係る光ファイバの屈折率プロファイルである。この第 6 実施例に係る光ファイバの基本構造も、図 2A に示された第 1 実施例と同様にコ

ア領域 110 とクラッド領域 120 を備える。ただし、クラッド領域 120 がディプレストクラッド構造を備えている点が第 5 実施例と異なる。図 2 A を参照して第 6 実施例に係る光ファイバの構造を説明すると、コア領域 110 は、所定軸に沿って伸びた屈折率  $n_1$  を有する外径 2a の第 1 コアと、該第 1 コアの外周に設けられかつ屈折率  $n_2$  を ( $n_1 < n_2$ ) 有する外径 2b の第 2 コアと、該第 2 コアの外周に設けられかつ屈折率  $n_3$  を ( $n_1 < n_3 < n_2$ ) 有する外径 2c の第 3 コアとを備える。ディプレストクラッド構造のクラッド領域 120 は、第 3 コアの外周に設けられかつ屈折率  $n_5$  ( $n_3 < n_5$ ) を有する外径 2d の内側クラッドと、該内側クラッドの外周に設けられた屈折率  $n_4$  ( $n_3 < n_4 < n_5$ ) を有する外側クラッドとを備える。

図 7 に示された屈折率プロファイル 650 と図 2 A に示された断面構造との関係について説明すると、該屈折率プロファイル 650 の横軸は、図 2 A 中の線 L に沿った、コア領域 110 の中心軸に対して垂直な断面上の各部位に相当している。したがって、図 7 の屈折率プロファイル 650において、領域 651 はコア領域 110 を構成する第 1 コアの線 L 上の各部位における屈折率、領域 652 はコア領域 110 を構成する第 2 コアの線 L 上の各部位における屈折率、領域 653 はコア領域 110 を構成する第 3 コアの線 L 上の各部位における屈折率、領域 654 はクラッド領域 120 を構成する内側クラッドの線 L 上の各部位における屈折率、領域 655 はクラッド領域 120 を構成する外側クラッドの線 L 上の各部位における屈折率を、それぞれ示している。なお、第 1 コアの外径 2a は 5.7  $\mu\text{m}$ 、第 2 コアの外径 2b は 16.2  $\mu\text{m}$ 、第 3 コア領域の外径 2c は 23.0  $\mu\text{m}$  であり、内側クラッドの外径 2d は 34.4  $\mu\text{m}$  である。また、外側クラッド領域の屈折率を基準とした、第 1 コアの比屈折率差  $\Delta_1$  (=  $(n_1 - n_4) / n_4$ ) は 0.50%、第 2 コアの比屈折率差は  $n_2 = n_4$  に設定されているため 0%、第 3 コアの比屈折率差  $\Delta_3$  (=  $(n_3 - n_4) / n_4$ ) は 0.16%、内側クラッドの比屈折率差  $\Delta_5$  (=  $(n_5 - n_4) / n_4$ ) は -0.10% である。このよ

うな光ファイバは、シリカをベースとして、例えば、第1コア及び第3コアそれに適切な量のGe元素を添加し、内側クラッドにF元素を添加することにより得られる。

この第6実施例に係る光ファイバの零分散波長は1.42μmであり、波長1.20μm～1.60μmの範囲には該零分散波長が1つのみ存在している。該零分散波長における分散スロープは0.056ps/nm<sup>2</sup>/km、波長1.55μmにおける分散スロープは0.052ps/nm<sup>2</sup>/km、カットオフ波長は1.23μmである。また、少なくとも波長1.30μm～1.55μmの範囲において分散スロープは単調に増加しており、具体的には、波長1.20μmにおける分散が-16.4ps/nm/km、波長1.30μmにおける分散が-7.9ps/nm/km、波長1.45μmにおける分散が1.6ps/nm/km、波長1.55μmにおける分散が6.6ps/nm/km、波長1.60μmにおける分散が9.2ps/nm/kmである。さらに、直径32mmで巻かれたときの波長1.55μmにおける曲げ損失は、1ターン当たり0.02dBであり、波長1.55μmにおける実効断面積A<sub>eff</sub>は57.1μm<sup>2</sup>である。

(第7及び第8実施例)

図8は、第7及び第8実施例に係る光ファイバの屈折率プロファイルである。これら第7及び第8実施例は同じ構造を備え、いずれも図2Aに示された第1実施例と同様にコア領域110とクラッド領域120を備える。図2Aを参照して第7及び第8実施例に係る光ファイバの構造を説明すると、コア領域110は、所定軸に沿って伸びた屈折率n<sub>1</sub>を有する外径2aの第1コアと、該第1コアの外周に設けられかつ屈折率n<sub>2</sub>を(>n<sub>1</sub>)有する外径2bの第2コアを備える。第2コアの外周に設けられたクラッド領域120の屈折率はn<sub>3</sub>(<n<sub>2</sub>)である。

図8に示された屈折率プロファイル750と図2Aに示された断面構造との関係について説明すると、該屈折率プロファイル750の横軸は、図2A中の線L

に沿った、コア領域 110 の中心軸に対して垂直な断面上の各部位に相当している。したがって、図 8 の屈折率プロファイル 750において、領域 751 はコア領域 110 を構成する第 1 コアの線 L 上の各部位における屈折率、領域 752 はコア領域 110 を構成する第 2 コアの線 L 上の各部位における屈折率、領域 753 はクラッド領域 120 の線 L 上の各部位における屈折率を、それぞれ示している。  
5

なお、第 7 実施例に係る光ファイバにおいて、第 1 コアの外径 2a は  $2.8 \mu m$ 、第 2 コアの外径 2b は  $5.6 \mu m$  である。クラッド領域の屈折率を基準とした、第 1 コアの比屈折率差  $\Delta_1$  は  $n_1 = n_3$  に設定されるため 0 % であり、第 2 コア領域の比屈折率差  $\Delta_2$  ( $= (n_2 - n_3) / n_3$ ) は 0.7 % である。このような光ファイバは、シリカをベースとして、例えば、第 2 コアに Ge 元素を添加することにより得られる。  
10

この第 7 実施例に係る光ファイバの零分散波長は  $1.41 \mu m$  であり、波長  $1.20 \mu m \sim 1.60 \mu m$  の範囲には該零分散波長が 1 つのみ存在している。該零分散波長における分散スロープは  $0.075 \text{ ps/nm}^2/km$ 、波長  $1.55 \mu m$  における分散スロープは  $0.061 \text{ ps/nm}^2/km$ 、カットオフ波長は  $1.10 \mu m$  である。また、少なくとも波長  $1.30 \mu m \sim 1.55 \mu m$  の範囲において分散スロープは単調に増加しており、具体的には、波長  $1.20 \mu m$  における分散が  $-20.1 \text{ ps/nm/km}$ 、波長  $1.30 \mu m$  における分散が  $-9.3 \text{ ps/nm/km}$ 、波長  $1.45 \mu m$  における分散が  $3.0 \text{ ps/nm/km}$ 、波長  $1.55 \mu m$  における分散が  $9.4 \text{ ps/nm/km}$ 、波長  $1.60 \mu m$  における分散が  $12.4 \text{ ps/nm/km}$  である。さらに、直径  $3.2 \text{ mm}$  で巻かれたときの波長  $1.55 \mu m$  における曲げ損失は、1 ターン当たり  $0.3 \text{ dB}$  であり、波長  $1.55 \mu m$  における実効断面積  $A_{eff}$  は  $67.3 \mu m^2$  である。  
15  
20

一方、第 8 実施例に係る光ファイバにおいて、第 1 コアの外径 2a は  $3.2 \mu m$ 、第 2 コアの外径 2b は  $6.4 \mu m$  である。また、クラッド領域の屈折率を基

準とした、第1コアの比屈折率差 $\Delta_1$  ( $= (n_1 - n_3) / n_3$ ) は -0.2%、第2コアの比屈折率差 $\Delta_2$  ( $= (n_2 - n_3) / n_3$ ) は 0.7% である。このような光ファイバは、シリカをベースとして、例えば、第1コアに F 元素を添加し、第2コアに Ge 元素を添加することにより得られる。

この第8実施例に係る光ファイバの零分散波長は  $1.42 \mu\text{m}$  であり、波長  $1.20 \mu\text{m} \sim 1.60 \mu\text{m}$  の範囲には該零分散波長が 1 つのみ存在している。該零分散波長における分散スロープは  $0.084 \text{ ps/nm}^2/\text{km}$ 、波長  $1.55 \mu\text{m}$  における分散スロープは  $0.068 \text{ ps/nm}^2/\text{km}$ 、カットオフ波長は  $1.17 \mu\text{m}$  である。また、少なくとも波長  $1.30 \mu\text{m} \sim 1.55 \mu\text{m}$  の範囲において分散スロープは単調に増加しており、具体的には、波長  $1.20 \mu\text{m}$  における分散が  $-22.9 \text{ ps/nm/km}$ 、波長  $1.30 \mu\text{m}$  における分散が  $-11.1 \text{ ps/nm/km}$ 、波長  $1.45 \mu\text{m}$  における分散が  $2.4 \text{ ps/nm/km}$ 、波長  $1.55 \mu\text{m}$  における分散が  $9.9 \text{ ps/nm/km}$ 、波長  $1.60 \mu\text{m}$  における分散が  $13.2 \text{ ps/nm/km}$  である。さらに、直径  $3.2 \text{ mm}$  で巻かれたときの波長  $1.55 \mu\text{m}$  における曲げ損失は、1 ターン当たり  $0.2 \text{ dB}$  であり、波長  $1.55 \mu\text{m}$  における実効断面積  $A_{\text{eff}}$  は  $79.1 \mu\text{m}^2$  である。

#### (第9及び第10実施例)

図9は、第9及び第10実施例に係る光ファイバの屈折率プロファイルである。これら第9及び第10実施例は同じ構造を備え、いずれも図2Aに示された第1実施例と同様にコア領域110とクラッド領域120を備える。ただし、これら第9及び第10実施例は、クラッド領域120がディプレストクラッド構造備えている点で第7及び第8実施例と異なる。図2Aを参照して第9及び第10実施例に係る光ファイバの構造を説明すると、コア領域110は、所定軸に沿って伸びた屈折率  $n_1$  を有する外径  $2a$  の第1コアと、該第1コアの外周に設けられかつ屈折率  $n_2$  ( $> n_1$ ) を有する外径  $2b$  の第2コアとを備える。ディプレ

ストクラッド構造を備えるクラッド領域は、第2コアの外周に設けられかつ屈折率  $n_4$  ( $< n_1$ ) を有する外径  $2c$  の内側クラッドと、該内側クラッドの外周に設けられた屈折率  $n_3$  ( $> n_4$ ) を有する外側クラッドとを備える。

図9に示された屈折率プロファイル850と図2Aに示された断面構造との関係について説明すると、該屈折率プロファイル850の横軸は、図2A中の線Lに沿った、コア領域110の中心軸に対して垂直な断面上の各部位に相当している。したがって、図9の屈折率プロファイル850において、領域851はコア領域110を構成する第1コアの線L上の各部位における屈折率、領域852はコア領域110を構成する第2コアの線L上の各部位における屈折率、領域853はクラッド領域120を構成する内側クラッドの線L上の各部位における屈折率、領域854はクラッド領域120を構成する外側クラッドの線L上の各部位における屈折率を、それぞれ示している。

なお、第9実施例に係る光ファイバにおいて、第1コアの外径  $2a$  は  $3.8 \mu m$ 、第2コアの外径  $2b$  は  $7.1 \mu m$ 、内側クラッドの外径  $2c$  は  $10.6 \mu m$  である。外側クラッドの屈折率を基準とした、第1コアの比屈折率差  $\Delta_1$  は  $n_1 = n_3$  に設定しているため  $0\%$  であり、第2コアの比屈折率差  $\Delta_2$  ( $= (n_2 - n_3) / n_3$ ) は  $0.7\%$ 、内側クラッドの比屈折率差  $\Delta_4$  ( $= (n_4 - n_3) / n_3$ ) は  $-0.2\%$  である。このような光ファイバは、シリカをベースとして、例えば、第2コアにGe元素を添加し、内側クラッドにF元素を添加することにより得られる。

この第9実施例に係る光ファイバの零分散波長は  $1.42 \mu m$  であり、波長  $1.20 \mu m \sim 1.60 \mu m$  の範囲には該零分散波長が1つのみ存在している。該零分散波長における分散スロープは  $0.077 \text{ ps/nm}^2/km$ 、波長  $1.55 \mu m$  における分散スロープは  $0.061 \text{ ps/nm}^2/km$ 、カットオフ波長は  $1.22 \mu m$  である。また、少なくとも波長  $1.30 \mu m \sim 1.55 \mu m$  の範囲において分散スロープは単調に増加しており、具体的には、波長  $1.20 \mu m$  に

5 おける分散が $-21.6 \text{ ps/nm/km}$ 、波長 $1.30 \mu\text{m}$ における分散が $-10.2 \text{ ps/nm/km}$ 、波長 $1.45 \mu\text{m}$ における分散が $2.2 \text{ ps/nm/km}$ 、波長 $1.55 \mu\text{m}$ における分散が $9.1 \text{ ps/nm/km}$ 、波長 $1.60 \mu\text{m}$ における分散が $12.1 \text{ ps/nm}^2/\text{km}$ である。さらに、直径 $32 \text{ m}$ で巻かれたときの波長 $1.55 \mu\text{m}$ における曲げ損失は、1ターン当たり $0.2 \text{ dB}$ であり、波長 $1.55 \mu\text{m}$ における実効断面積 $A_{\text{eff}}$ は $73.5 \mu\text{m}^2$ である。

10 一方、第10実施例に係る光ファイバにおいて、第1コアの外径 $2a$ は $2.6 \mu\text{m}$ 、第2コアの外径 $2b$ は $6.4 \mu\text{m}$ 、内側クラッドの外径 $2c$ は $9.6 \mu\text{m}$ である。外側クラッドの屈折率を基準とした、第1コアの比屈折率差 $\Delta_1$  ( $= (n_1 - n_3) / n_3$ ) は $-0.2\%$ 、第2コアの比屈折率差 $\Delta_2$  ( $= (n_2 - n_3) / n_3$ ) は $0.7\%$ 、内側クラッドの比屈折率差 $\Delta_4$  ( $= (n_4 - n_3) / n_3$ ) は $-0.2\%$ である。このような光ファイバは、シリカをベースとして、例えば、第2コアにGe元素を添加し、第1コア及び内側クラッドそれぞれにF元素を添加することにより得られる。

15 この第10実施例に係る光ファイバの零分散波長は $1.44 \mu\text{m}$ であり、波長 $1.20 \mu\text{m} \sim 1.60 \mu\text{m}$ の範囲には該零分散波長が1つのみ存在している。該零分散波長における分散スロープは $0.070 \text{ ps/nm}^2/\text{km}$ 、波長 $1.55 \mu\text{m}$ における分散スロープは $0.058 \text{ ps/nm}^2/\text{km}$ 、カットオフ波長は $1.18 \mu\text{m}$ である。また、少なくとも波長 $1.30 \mu\text{m} \sim 1.55 \mu\text{m}$ の範囲において分散スロープは単調に増加しており、具体的には、波長 $1.20 \mu\text{m}$ における分散が $-21.5 \text{ ps/nm/km}$ 、波長 $1.30 \mu\text{m}$ における分散が $-10.8 \text{ ps/nm/km}$ 、波長 $1.45 \mu\text{m}$ における分散が $0.7 \text{ ps/nm/km}$ 、波長 $1.55 \mu\text{m}$ における分散が $7.3 \text{ ps/nm/km}$ 、波長 $1.60 \mu\text{m}$ における分散が $10.1 \text{ ps/nm/km}$ である。さらに、直径 $32 \text{ m}$ で巻かれたときの波長 $1.55 \mu\text{m}$ における曲げ損失は、1ターン当たり $0.2 \text{ dB}$ である。

0.3 dBであり、波長  $1.55 \mu\text{m}$  における実効断面積  $A_{\text{eff}}$  は  $59.6 \mu\text{m}^2$  である。

(第 10 及び第 11 実施例)

図 10 は、第 11 及び第 12 実施例に係る光ファイバの屈折率プロファイルである。これら第 9 及び第 10 実施例は同じ構造を備え、いずれも図 2A に示された第 1 実施例と同様にコア領域 110 とクラッド領域 120 を備える。図 2A を参照して第 11 及び第 12 実施例に係る光ファイバの構造を説明すると、コア領域 110 は、所定軸に沿って伸びた屈折率  $n_1$  を有する外径 2a の第 1 コアと、該第 1 コアの外周に設けられかつ屈折率  $n_2$  ( $> n_1$ ) を有する外径 2b の第 2 コアと、該第 2 コアの外周に設けられかつ屈折率  $n_3$  ( $< n_2$ ) を有する外径 2c の第 3 コアと、該第 3 コアの外周に設けられかつ屈折率  $n_4$  ( $< n_2, > n_3$ ) を有する外径 2d の第 4 コアとを備える。第 4 コアの外周に設けられたクラッド領域 120 の屈折率は  $n_5$  ( $< n_4$ ) である。

図 10 に示された屈折率プロファイル 950 と図 2A に示された断面構造との関係について説明すると、該屈折率プロファイル 950 の横軸は、図 2A 中の線 L に沿った、コア領域 110 の中心軸に対して垂直な断面上の各部位に相当している。したがって、図 10 の屈折率プロファイル 950 において、領域 951 はコア領域 110 を構成する第 1 コアの線 L 上の各部位における屈折率、領域 952 はコア領域 110 を構成する第 2 コアの線 L 上の各部位における屈折率、領域 953 はコア領域 110 を構成する第 3 コアの線 L 上の各部位における屈折率、領域 954 はコア領域 110 を構成する第 4 コアの線 L 上の各部位における屈折率、領域 955 クラッド領域 120 の線 L 上の各部位における屈折率を、それぞれ示している。

なお、第 11 実施例に係る光ファイバにおいて、第 1 コアの外径 2a は  $2.7 \mu\text{m}$ 、第 2 コアの外径 2b は  $5.4 \mu\text{m}$ 、第 3 コアの外径 2c は  $8.1 \mu\text{m}$  であり、第 4 コアの外径 2d は  $10.8 \mu\text{m}$  である。クラッド領域の屈折率を基準と

した、第1コアの比屈折率差 $\Delta_1$ は $n_1 = n_3$ に設定されるため0%、第2コア領域の比屈折率差 $\Delta_2$  ( $= (n_2 - n_5) / n_5$ ) は0.8%、第3コアの比屈折率差 $\Delta_3$ は $n_3 = n_5$ に設定されているため0%、第4コアの比屈折率差 $\Delta_4$  ( $= (n_4 - n_5) / n_5$ ) は0.1%である。このような光ファイバは、シリカをベースとして、例えば、第2コア及び第4コアそれぞれにGe元素を添加することにより得られる。

この第11実施例に係る光ファイバの零分散波長は1.42μmであり、波長1.20μm～1.60μmの範囲には該零分散波長が1つのみ存在している。該零分散波長における分散スロープは0.080ps/nm<sup>2</sup>/km、波長1.55μmにおける分散スロープは0.065ps/nm<sup>2</sup>/km、カットオフ波長は1.16μmである。また、少なくとも波長1.30μm～1.55μmの範囲において分散スロープは単調に増加しており、具体的には、波長1.20μmにおける分散が-21.8ps/nm/km、波長1.30μmにおける分散が-10.5ps/nm/km、波長1.45μmにおける分散が2.3ps/nm/km、波長1.55μmにおける分散が9.5ps/nm/km、波長1.60μmにおける分散が12.7ps/nm/kmである。さらに、直径32mで巻かれたときの波長1.55μmにおける曲げ損失は、1ターン当たり0.005dBであり、波長1.55μmにおける実効断面積A<sub>eff</sub>は62.6μm<sup>2</sup>である。

一方、第12実施例に係る光ファイバにおいて、第1コアの外径2aは3.2μm、第2コア領域の外径2bは7.0μm、第3コアの外径2cは9.0μm、第4コアの外径2dは12.8μmである。クラッド領域の屈折率を基準とした、第1コアの比屈折率差 $\Delta_1$  ( $= (n_1 - n_5) / n_5$ ) は-0.2%、第2コアの比屈折率差 $\Delta_2$  ( $= (n_2 - n_5) / n_5$ ) は0.6%、第3コアの比屈折率差 $\Delta_3$  ( $= (n_3 - n_5) / n_5$ ) は-0.2%、第4コアの比屈折率差 $\Delta_4$  ( $= (n_4 - n_5) / n_5$ ) は0.1%である。このような光ファイバは、シリカをベースと

して、例えば、第2コア及び第4コアそれぞれにGe元素を添加し、第1コア及び第3コアそれぞれにF元素を添加することにより得られる。

この第12実施例に係る光ファイバの零分散波長は1.41μmであり、波長1.20μm～1.60μmの範囲には該零分散は長が1つのみ存在している。

5 該零分散波長における分散スロープは0.088ps/nm<sup>2</sup>/km、波長1.55μmにおける分散スロープは0.071ps/nm<sup>2</sup>/km、カットオフ波長は1.22μmである。また、少なくとも波長1.30μm～1.55μmの範囲において分散スロープは単調に増加しており、具体的には、波長1.20μmにおける分散が-22.5ps/nm/km、波長1.30μmにおける分散が-10.6ps/nm/km、波長1.45μmにおける分散が3.4ps/nm/km、波長1.55μmにおける分散が11.0ps/nm/km、波長1.60μmにおける分散が14.5ps/nm/kmである。さらに、直徑32mmで巻かれたときの波長1.55μmにおける曲げ損失は、1ターン当たり0.4dBであり、波長1.55μmにおける実効断面積A<sub>eff</sub>は92.7μm<sup>2</sup>である。

### (第13実施例)

この発明に係る光ファイバの第13実施例は、基本的に図2A及び図2Bに示されたような断面構造及び屈折率プロファイルを有する。ただし、この第13実施例に係る光ファイバは、シリカをベースにしてコア領域110を除くクラッド領域120にフッ素(屈折率低下剤)を添加することにより、コア領域110とクラッド領域120との間に、相対的に屈折率の差を生じさせている点で第1実施例と異なる。

この第13実施例に係る光ファイバにおいて、純シリカ(屈折率n<sub>0</sub>)のコア領域110の外径2aは5.6μmである。また、クラッド領域120の屈折率n<sub>2</sub>(< n<sub>0</sub>)を基準とした、コア領域110の比屈折率差△<sub>1</sub>(=(n<sub>0</sub>-n<sub>2</sub>)/n<sub>2</sub>)は0.53%である。なお、この第13実施例では、コア領域110を

純シリカ（故意には不純物が添加されていないシリカ）で構成したが、このコア領域110には、塩素が添加されたシリカであってもよい。

この第13実施例に係る光ファイバの零分散波長は1.41μmであり、波長1.20μm～1.60μmの範囲には該零分散波長が1つのみ存在している。

5 該零分散波長における分散スロープは0.057ps/nm<sup>2</sup>/km、波長1.55μmにおける分散スロープは0.048ps/nm<sup>2</sup>/km、カットオフ波長は1.04μmである。また、少なくとも波長1.30μm～1.55μmの範囲において分散スロープは単調に増加しており、具体的には、波長1.20μmにおける分散が-15.7ps/nm/km、波長1.30μmにおける分散が-7.2ps/nm/km、波長1.45μmにおける分散が2.2ps/nm/km、波長1.55μmにおける分散が7.1ps/nm/km、波長1.60μmにおける分散が9.4ps/nm/kmである。さらに、直徑32mmで巻かれたときの波長1.55μmにおける曲げ損失は、1ターン当たり0.04dBであり、波長1.55μmにおける実効断面積A<sub>eff</sub>は52.2μm<sup>2</sup>である。

加えて、この第13実施例に係る光ファイバは、波長1.55μmにおける伝送損失が0.17dB/kmであり、コア領域にGeが添加された実施例（波長1.55μmにおける伝送損失は0.20dB/km程度）と比較して、より低損失の光ファイバである。

20 (第14実施例)

この発明に係る光ファイバの第14実施例は、図4に示された第3実施例と同様の屈折率プロファイルを有するとともに、波長1.55μmにおいて50μm<sup>2</sup>程度の実効断面積を有する。ただし、この第14実施例のプロファイル形状は、第1コアの屈折率（n<sub>1</sub>）が半径方向に均一である点で第3実施例と異なる。

25 この第14実施例に係る光ファイバは、上述の第3実施例と同様に、屈折率n<sub>1</sub>を有する第1コアと、該第1コアの外周に設けられかつ屈折率n<sub>2</sub>（<n<sub>1</sub>）を

有する第2コアと、該第2コアの外周に設けられかつ屈折率 $n_3$  ( $< n_2$ ) を有するクラッド領域とを備える。

なお、この第14実施例に係る光ファイバにおいて、第1コアの外径 $2a$ は $5.5\mu\text{m}$ 、第2コアの外径 $2b$ は $23.7\mu\text{m}$ である。また、クラッド領域の屈折率 $n_3$ を基準とした、第1コアの比屈折率差 $\Delta_1$  ( $= (n_1 - n_3) / n_3$ ) は $0.59\%$ 、第2コアの比屈折率差 $\Delta_2$  ( $= (n_2 - n_3) / n_3$ ) は $0.06\%$ である。

この第14実施例に係る光ファイバの零分散波長は $1.41\mu\text{m}$ であり、波長 $1.20\mu\text{m} \sim 1.60\mu\text{m}$ の範囲には該零分散波長が1つのみ存在している。

該零分散波長における分散スロープは $0.065\text{ps/nm}^2/\text{km}$ 、波長 $1.55\mu\text{m}$ における分散スロープは $0.055\text{ps/nm}^2/\text{km}$ 、カットオフ波長は $1.25\mu\text{m}$ である。また、少なくとも波長 $1.30\mu\text{m} \sim 1.55\mu\text{m}$ の範囲において分散スロープは単調に増加しており、具体的には、波長 $1.20\mu\text{m}$ における分散が $-16.8\text{ps/nm}/\text{km}$ 、波長 $1.30\mu\text{m}$ における分散が $-7.7\text{ps/nm}/\text{km}$ 、波長 $1.45\mu\text{m}$ における分散が $2.5\text{ps/nm}/\text{km}$ 、波長 $1.55\mu\text{m}$ における分散が $8.5\text{ps/nm}/\text{km}$ 、波長 $1.60\mu\text{m}$ における分散が $11.2\text{ps/nm}/\text{km}$ である。さらに、直径 $32\text{mm}$ で巻かれたときの波長 $1.55\mu\text{m}$ における曲げ損失は、1ターン当たり $0.0002\text{dB}$ であり、波長 $1.55\mu\text{m}$ における実効断面積 $A_{\text{eff}}$ は $50.1\mu\text{m}^2$ である。

#### (第15実施例)

この発明に係る光ファイバの第15実施例も、図4に示された第3実施例と同様の屈折率プロファイルを有するとともに、 $1450\text{nm}$ 近傍の零分散波長を有する。ただし、この第15実施例のプロファイル形状は、第1コアの屈折率( $n_1$ ) が半径方向に均一である点で第3実施例と異なる。

この第15実施例に係る光ファイバは、上述の第3実施例と同様に、屈折率 $n$

<sub>1</sub>を有する第1コアと、該第1コアの外周に設けられかつ屈折率n<sub>2</sub> (< n<sub>1</sub>) を有する第2コアと、該第2コアの外周に設けられかつ屈折率n<sub>3</sub> (< n<sub>2</sub>) を有するクラッド領域とを備える。

なお、この第15実施例に係る光ファイバにおいて、第1コアの外径2aは4.8 μm、第2コアの外径2bは15.1 μmである。また、クラッド領域の屈折率n<sub>3</sub>を基準とした、第1コアの比屈折率差Δ<sub>1</sub> (= (n<sub>1</sub> - n<sub>3</sub>) / n<sub>3</sub>) は0.65%、第2コアの比屈折率差Δ<sub>2</sub> (= (n<sub>2</sub> - n<sub>3</sub>) / n<sub>3</sub>) は0.06%である。

この第15実施例に係る光ファイバの零分散波長は1.46 (1.457) μmであり、波長1.20 μm～1.60 μmの範囲には該零分散波長が1つのみ存在している。該零分散波長における分散スロープは0.060 ps/nm<sup>2</sup>/km、波長1.55 μmにおける分散スロープは0.060 ps/nm<sup>2</sup>/km、カットオフ波長は1.07 μmである。また、少なくとも波長1.30 μm～1.55 μmの範囲において分散スロープは単調に増加しており、具体的には、波長1.20 μmにおける分散が-20.2 ps/nm/km、波長1.30 μmにおける分散が-11.1 ps/nm/km、波長1.45 μmにおける分散が-0.6 ps/nm/km、波長1.55 μmにおける分散が5.7 ps/nm/km、波長1.60 μmにおける分散が8.7 ps/nm/kmである。さらに、直径32 mmで巻かれたときの波長1.55 μmにおける曲げ損失は、1ターン当たり0.00006 dBであり、波長1.55 μmにおける実効断面積A<sub>eff</sub>は45.3 μm<sup>2</sup>である。

#### (第16実施例)

この発明に係る光ファイバの第16実施例は、図6に示された第5実施例と同様の屈折率プロファイルを有するが、第2コアの屈折率(n<sub>2</sub>)がクラッド領域の屈折率(n<sub>4</sub>)よりも高く設定されている点、及び第1コアの屈折率プロファイルの形状がα系分布(図5に示されたようなドーム形状)である点で、該第5

実施例と異なる。

この第16実施例に係る光ファイバは、上述の第5実施例と同様に、最大屈折率 $n_1$ を有する第1コアと、該第1コアの外周に設けられかつ屈折率 $n_2$  ( $< n_1$ ) を有する第2コアと、該第2コアの外周に設けられかつ屈折率 $n_3$  ( $> n_2$ 、  $< n_1$ ) を有する第3コアと、該第3コアの外周に設けられかつ屈折率 $n_4$  ( $< n_3$ ) を有するクラッド領域とを備える。

なお、この第16実施例に係る光ファイバにおいて、第1コアの外径 $2a$ は6.7  $\mu\text{m}$ 、第2コアの外径 $2b$ は13.4  $\mu\text{m}$ 、第3コアの外径 $2c$ は22.4  $\mu\text{m}$ である。また、クラッド領域の屈折率 $n_4$ を基準とした、第1コアの比屈折率差 $\Delta_1$  ( $= (n_1 - n_4) / n_4$ ) は0.60%、第2コアの比屈折率差 $\Delta_2$  ( $= (n_2 - n_4) / n_4$ ) は0.05%、第3コアの比屈折率差 $\Delta_3$  ( $= (n_3 - n_4) / n_4$ ) は0.11%である。

この第16実施例に係る光ファイバの零分散波長は1.47  $\mu\text{m}$ であり、波長1.20  $\mu\text{m}$ ~1.60  $\mu\text{m}$ の範囲には該零分散波長が1つのみ存在している。該零分散波長における分散スロープは0.065 ps/nm<sup>2</sup>/km、波長1.55  $\mu\text{m}$ における分散スロープは0.065 ps/nm<sup>2</sup>/km、カットオフ波長は1.37  $\mu\text{m}$ である。また、少なくとも波長1.30  $\mu\text{m}$ ~1.55  $\mu\text{m}$ の範囲において分散スロープは単調に増加しており、具体的には、波長1.20  $\mu\text{m}$ における分散が-21.1 ps/nm/km、波長1.30  $\mu\text{m}$ における分散が-12.1 ps/nm/km、波長1.45 mにおける分散が-1.3 ps/nm/km、波長1.55  $\mu\text{m}$ における分散が5.1 ps/nm/km、波長1.60  $\mu\text{m}$ における分散が8.4 ps/nm/kmである。さらに、直径32 mmで巻かれたときの波長1.55  $\mu\text{m}$ における曲げ損失は、1ターン当たり0.02 dBであり、波長1.55  $\mu\text{m}$ における実効断面積 $A_{eff}$ は62.6  $\mu\text{m}^2$ である。

(第17実施例)

この発明に係る光ファイバの第17実施例は、図4に示された第3実施例と同様の屈折率プロファイルを有するとともに、信号光波長よりも長いカットオフ波長を有する。

この第17実施例に係る光ファイバは、上述の第3実施例と同様に、屈折率 $n_1$ を有する第1コアと、該第1コアの外周に設けられかつ屈折率 $n_2$  ( $< n_1$ ) を有する第2コアと、該第2コアの外周に設けられかつ屈折率 $n_3$  ( $< n_2$ ) を有するクラッド領域とを備える。

なお、この第17実施例に係る光ファイバにおいて、第1コアの外径 $2a$ は7.5  $\mu\text{m}$ 、第2コアの外径 $2b$ は29.0  $\mu\text{m}$ である。また、クラッド領域の屈折率 $n_3$ を基準とした、第1コアの比屈折率差 $\Delta_1$  ( $= (n_1 - n_3) / n_3$ ) は0.61%、第2コアの比屈折率差 $\Delta_2$  ( $= (n_2 - n_3) / n_3$ ) は0.10%である。

この第17実施例に係る光ファイバの零分散波長は1.40  $\mu\text{m}$ であり、波長1.20  $\mu\text{m}$ ～1.60  $\mu\text{m}$ の範囲には該零分散波長が1つのみ存在している。該零分散波長における分散スロープは0.071  $\text{ps/nm}^2/\text{km}$ 、波長1.55  $\mu\text{m}$ における分散スロープは0.059  $\text{ps/nm}^2/\text{km}$ 、カットオフ波長は1.78  $\mu\text{m}$ である。また、少なくとも波長1.30  $\mu\text{m}$ ～1.55  $\mu\text{m}$ の範囲において分散スロープは単調に増加しており、具体的には、波長1.20  $\mu\text{m}$ における分散が-17.4  $\text{ps/nm/km}$ 、波長1.30  $\mu\text{m}$ における分散が-7.7  $\text{ps/nm/km}$ 、波長1.45  $\mu\text{m}$ における分散が3.5  $\text{ps/nm/km}$ 、波長1.55  $\mu\text{m}$ における分散が9.7  $\text{ps/nm/km}$ 、波長1.60  $\mu\text{m}$ における分散が12.6  $\text{ps/nm/km}$ である。さらに、直徑3.2 mmで巻かれたときの波長1.55  $\mu\text{m}$ における曲げ損失は、1ターン当たり0.0002 dBであり、波長1.55  $\mu\text{m}$ における実効断面積 $A_{\text{eff}}$ は60.3  $\mu\text{m}^2$ である。

続いて、図6及び図7に示されたようにコア領域が第1～第3コアから構成さ

れた3重構造の光ファイバについて、波長1.55μmにおける分散スロープが0.06ps/nm<sup>2</sup>/km以下である低分散スロープを有する複数の実施例について以下説明する。

(第18実施例)

この発明に係る光ファイバの第18実施例は、図6に示された第5実施例と同様の屈折率プロファイルを有するとともに、低分散スロープを有する光ファイバである。

この第18実施例に係る光ファイバは、上述の第5実施例と同様に、屈折率n<sub>1</sub>を有する第1コアと、該第1コアの外周に設けられかつ屈折率n<sub>2</sub>(<n<sub>1</sub>)を有する第2コアと、該第2コアの外周に設けられかつ屈折率n<sub>3</sub>(>n<sub>2</sub>、<n<sub>1</sub>)を有する第3コアと、該第3コアの外周に設けられかつ屈折率n<sub>4</sub>(=n<sub>2</sub>)を有するクラッド領域とを備える。

なお、この第18実施例に係る光ファイバにおいて、第1コアの外径2aは5.5μm、第2コアの外径2bは22.8μm、第3コアの外径2cは34.6μmである。また、クラッド領域の屈折率n<sub>4</sub>を基準とした、第1コアの比屈折率差△<sub>1</sub>(=(n<sub>1</sub>-n<sub>4</sub>)/n<sub>4</sub>)は0.48%、第2コアの比屈折率差はn<sub>2</sub>=n<sub>4</sub>に設定されているため0%、第3コアの比屈折率差△<sub>3</sub>(=(n<sub>3</sub>-n<sub>4</sub>)/n<sub>4</sub>)は0.12%である。

この第18実施例に係る光ファイバの零分散波長は1.41μmであり、波長1.20μm~1.60μmの範囲には該零分散波長が1つのみ存在している。該零分散波長における分散スロープは0.058ps/nm<sup>2</sup>/km、波長1.55μmにおける分散スロープは0.040ps/nm<sup>2</sup>/km、カットオフ波長は1.75μmである。また、少なくとも波長1.30μm~1.55μmの範囲において分散スロープは単調に増加しており、具体的には、波長1.20μmにおける分散が-16.5ps/nm/km、波長1.30μmにおける分散が-7.5ps/nm/km、波長1.45μmにおける分散が2.1ps/nm

／km、波長1.55μmにおける分散が6.8ps/nm/km、波長1.60μmにおける分散が8.6ps/nm/kmである。さらに、直径32mmで巻かれたときの波長1.55μmにおける曲げ損失は、1ターン当たり0.2dBであり、波長1.55μmにおける実効断面積A<sub>eff</sub>は57.1μm<sup>2</sup>である。

5 (第19実施例)

この発明に係る光ファイバの第19実施例も、図6に示された第5実施例と同様の屈折率プロファイルを有するとともに、低分散スロープを有する光ファイバである。なお、当該第19実施例の屈折率プロファイルは、第2コアの屈折率(n<sub>2</sub>)がクラッド領域の屈折率(n<sub>4</sub>)よりも高く設定されている点で、該第5実施例や上述の第18実施例と異なる。

10

この第19実施例に係る光ファイバは、上述の第5実施例と同様に、屈折率n<sub>1</sub>を有する第1コアと、該第1コアの外周に設けられかつ屈折率n<sub>2</sub>(< n<sub>1</sub>)を有する第2コアと、該第2コアの外周に設けられかつ屈折率n<sub>3</sub>(> n<sub>2</sub>、< n<sub>1</sub>)を有する第3コアと、該第3コアの外周に設けられかつ屈折率n<sub>4</sub>(< n<sub>3</sub>)を有するクラッド領域とを備える。

15

なお、この第19実施例に係る光ファイバにおいて、第1コアの外径2aは6.2μm、第2コアの外径2bは19.9μm、第3コアの外径2cは28.4μmである。また、クラッド領域の屈折率n<sub>4</sub>を基準とした、第1コアの比屈折率差△<sub>1</sub>(=(n<sub>1</sub>-n<sub>4</sub>)/n<sub>4</sub>)は0.44%、第2コアの比屈折率差△<sub>2</sub>(=(n<sub>2</sub>-n<sub>4</sub>)/n<sub>4</sub>)は0.01%、第3コアの比屈折率差△<sub>3</sub>(=(n<sub>3</sub>-n<sub>4</sub>)/n<sub>4</sub>)は0.13%である。

20

この第19実施例に係る光ファイバの零分散波長は1.38μmであり、波長1.20μm～1.60μmの範囲には該零分散波長が1つのみ存在している。該零分散波長における分散スロープは0.065ps/nm<sup>2</sup>/km、波長1.55μmにおける分散スロープは0.047ps/nm<sup>2</sup>/km、カットオフ波長は1.52μmである。また、少なくとも波長1.30μm～1.55μmの

範囲において分散スロープは単調に増加しており、具体的には、波長1.20  $\mu$ mにおける分散が-14.5 ps/nm/km、波長1.30  $\mu$ mにおける分散が-5.4 ps/nm/km、波長1.45 mにおける分散が4.4 ps/nm/km、波長1.55  $\mu$ mにおける分散が9.4 ps/nm/km、波長1.60  $\mu$ mにおける分散が11.7 ps/nm/kmである。さらに、直径32 mmで巻かれたときの波長1.55  $\mu$ mにおける曲げ損失は、1ターン当たり0.07 dBであり、波長1.55  $\mu$ mにおける実効断面積 $A_{eff}$ は64.5  $\mu$ m<sup>2</sup>である。

(第20実施例)

この発明に係る光ファイバの第20実施例は、図7に示された第6実施例と同様に、ディプレストクラッド構造の屈折率プロファイルを有するとともに、低分散スロープを有する光ファイバである。なお、当該第20実施例の屈折率プロファイルも上述の第19実施例と同様に第2コアの屈折率( $n_2$ )がクラッド領域の屈折率( $n_4$ )よりも高く設定されている。

この第20実施例に係る光ファイバにおいて、コア領域は、上述の第6実施例と同様に、屈折率 $n_1$ を有する第1コアと、該第1コアの外周に設けられかつ屈折率 $n_2$  ( $< n_1$ )を有する第2コアと、該第2コアの外周に設けられかつ屈折率 $n_3$  ( $> n_2$ 、 $< n_1$ )を有する第3コアとを備える。また、クラッド領域は、第3コアの外周に設けられかつ屈折率 $n_5$  ( $< n_3$ )を有する内側クラッドと、該内側クラッドの外周に設けられかつ屈折率 $n_4$  ( $< n_3$ 、 $> n_5$ )を有する外側クラッドとを備え、これら内側及び外側クラッドによりディプレストクラッド構造が構成されている。

なお、この第20実施例に係る光ファイバにおいて、第1コアの外径2aは5.6  $\mu$ m、第2コアの外径2bは19.7  $\mu$ m、第3コアの外径2cは28.1  $\mu$ m、内側クラッドの外径2dは42.0  $\mu$ mである。また、外側クラッドの屈折率 $n_4$ を基準とした、第1コアの比屈折率差 $\Delta_1$  ( $= (n_1 - n_4) / n_4$ )は0.

55%、第2コアの比屈折率差 $\Delta_2$  ( $= (n_2 - n_4) / n_4$ ) は0.01%、第3コアの比屈折率差 $\Delta_3$  ( $= (n_3 - n_4) / n_4$ ) は0.16%、内側クラッドの比屈折率差 $\Delta_5$  ( $= (n_5 - n_4) / n_4$ ) は-0.05%である。

この第20実施例に係る光ファイバの零分散波長は1.40 $\mu\text{m}$ であり、波長1.20 $\mu\text{m}$ ~1.60 $\mu\text{m}$ の範囲には該零分散波長が1つのみ存在している。該零分散波長における分散スロープは0.059 $\text{ps/nm}^2/\text{km}$ 、波長1.55 $\mu\text{m}$ における分散スロープは0.043 $\text{ps/nm}^2/\text{km}$ 、カットオフ波長は1.59 $\mu\text{m}$ である。また、少なくとも波長1.30 $\mu\text{m}$ ~1.55 $\mu\text{m}$ の範囲において分散スロープは単調に増加しており、具体的には、波長1.20 $\mu\text{m}$ における分散が-15.8 $\text{ps/nm/km}$ 、波長1.30 $\mu\text{m}$ における分散が-6.9 $\text{ps/nm/km}$ 、波長1.45 $\mu\text{m}$ における分散が2.7 $\text{ps/nm/km}$ 、波長1.55 $\mu\text{m}$ における分散が7.4 $\text{ps/nm/km}$ 、波長1.60 $\mu\text{m}$ における分散が9.5 $\text{ps/nm/km}$ である。さらに、直径32mmで巻かれたときの波長1.55 $\mu\text{m}$ における曲げ損失は、1ターン当たり0.001dBであり、波長1.55 $\mu\text{m}$ における実効断面積 $A_{\text{eff}}$ は50.4 $\mu\text{m}^2$ である。

#### (第21実施例)

この発明に係る光ファイバの第21実施例は、図6に示された第5実施例と同様の屈折率プロファイルを有するとともに、低分散スロープを有する光ファイバである。

この第21実施例に係る光ファイバは、上述の第5実施例と同様に、屈折率 $n_1$ を有する第1コアと、該第1コアの外周に設けられかつ屈折率 $n_2$  ( $< n_1$ ) を有する第2コアと、該第2コアの外周に設けられかつ屈折率 $n_3$  ( $> n_2, < n_1$ ) を有する第3コアと、該第3コアの外周に設けられかつ屈折率 $n_4$  ( $= n_2$ ) を有するクラッド領域とを備える。

なお、この第21実施例に係る光ファイバにおいて、第1コアの外径 $2a$ は6.

1  $\mu\text{m}$ 、第2コアの外径2 bは17.8  $\mu\text{m}$ 、第3コアの外径2 cは25.4  $\mu\text{m}$ である。また、クラッド領域の屈折率n<sub>4</sub>を基準とした、第1コアの比屈折率差 $\Delta_1$  ( $= (n_1 - n_4) / n_4$ ) は0.45%、第2コアの比屈折率差はn<sub>2</sub>=n<sub>4</sub>に設定されているため0%、第3コアの比屈折率差 $\Delta_3$  ( $= (n_3 - n_4) / n_4$ ) は0.14%である。

この第21実施例に係る光ファイバの零分散波長は1.40  $\mu\text{m}$ であり、波長1.20  $\mu\text{m}$ ~1.60  $\mu\text{m}$ の範囲には該零分散波長が1つのみ存在している。該零分散波長における分散スロープは0.057 ps/nm<sup>2</sup>/km、波長1.55  $\mu\text{m}$ における分散スロープは0.046 ps/nm<sup>2</sup>/km、カットオフ波長は1.44  $\mu\text{m}$ である。また、少なくとも波長1.30  $\mu\text{m}$ ~1.55  $\mu\text{m}$ の範囲において分散スロープは単調に増加しており、具体的には、波長1.20  $\mu\text{m}$ における分散が-15.2 ps/nm/km、波長1.30  $\mu\text{m}$ における分散が-6.5 ps/nm/km、波長1.45  $\mu\text{m}$ における分散が2.7 ps/nm/km、波長1.55  $\mu\text{m}$ における分散が7.5 ps/nm/km、波長1.60  $\mu\text{m}$ における分散が9.8 ps/nm/kmである。さらに、直径3.2 mmで巻かれたときの波長1.55  $\mu\text{m}$ における曲げ損失は、1ターン当たり0.1 dBであり、波長1.55  $\mu\text{m}$ における実効断面積A<sub>eff</sub>は64.4  $\mu\text{m}^2$ である。

#### (第22実施例)

この発明に係る光ファイバの第22実施例は、図7に示された第6実施例と同様に、ディプレストクラッド構造の屈折率プロファイルを有するとともに、低分散スロープを有する光ファイバである。なお、当該第22実施例の屈折率プロファイルでは、上述の第20実施例とは逆に第2コアの屈折率(n<sub>2</sub>)がクラッド領域の屈折率(n<sub>4</sub>)よりも低く設定されている。

この第22実施例に係る光ファイバにおいて、コア領域は、上述の第6実施例と同様に、屈折率n<sub>1</sub>を有する第1コアと、該第1コアの外周に設けられかつ屈折率n<sub>2</sub> ( $< n_1$ )を有する第2コアと、該第2コアの外周に設けられかつ屈折

率  $n_3$  ( $>n_2$ 、 $<n_1$ ) を有する第3コアとを備える。また、クラッド領域は、第3コアの外周に設けられかつ屈折率  $n_5$  ( $<n_3$ ) を有する内側クラッドと、該内側クラッドの外周に設けられかつ屈折率  $n_4$  ( $<n_3$ 、 $>n_5$ ) を有する外側クラッドとを備え、これら内側及び外側クラッドによりディプレストクラッド構造が構成されている。

なお、この第22実施例に係る光ファイバにおいて、第1コアの外径  $2a$  は  $6.0\text{ }\mu\text{m}$ 、第2コアの外径  $2b$  は  $19.7\text{ }\mu\text{m}$ 、第3コアの外径  $2c$  は  $30.0\text{ }\mu\text{m}$ 、内側クラッドの外径  $2d$  は  $44.8\text{ }\mu\text{m}$  である。また、外側クラッドの屈折率  $n_4$  を基準とした、第1コアの比屈折率差  $\Delta_1$  ( $= (n_1 - n_4) / n_4$ ) は  $0.46\%$ 、第2コアの比屈折率差  $\Delta_2$  ( $= (n_2 - n_4) / n_4$ ) は  $-0.05\%$ 、第3コアの比屈折率差  $\Delta_3$  ( $= (n_3 - n_4) / n_4$ ) は  $0.16\%$ 、内側クラッドの比屈折率差  $\Delta_5$  ( $= (n_5 - n_4) / n_4$ ) は  $-0.05\%$  である。

この第22実施例に係る光ファイバの零分散波長は  $1.39\text{ }\mu\text{m}$  であり、波長  $1.20\text{ }\mu\text{m} \sim 1.60\text{ }\mu\text{m}$  の範囲には該零分散波長が1つのみ存在している。該零分散波長における分散スロープは  $0.052\text{ ps/nm}^2/\text{km}$ 、波長  $1.55\text{ }\mu\text{m}$  における分散スロープは  $0.023\text{ ps/nm}^2/\text{km}$ 、カットオフ波長は  $1.66\text{ }\mu\text{m}$  である。また、少なくとも波長  $1.30\text{ }\mu\text{m} \sim 1.55\text{ }\mu\text{m}$  の範囲において分散スロープは単調に増加しており、具体的には、波長  $1.20\text{ }\mu\text{m}$  における分散が  $-14.4\text{ ps/nm/km}$ 、波長  $1.30\text{ }\mu\text{m}$  における分散が  $-5.7\text{ ps/nm/km}$ 、波長  $1.45\text{ }\mu\text{m}$  における分散が  $2.8\text{ ps/nm/km}$ 、波長  $1.55\text{ }\mu\text{m}$  における分散が  $5.9\text{ ps/nm/km}$ 、波長  $1.60\text{ }\mu\text{m}$  における分散が  $7.0\text{ ps/nm/km}$  である。さらに、直徑  $32\text{ mm}$  で巻かれたときの波長  $1.55\text{ }\mu\text{m}$  における曲げ損失は、1ターン当たり  $0.3\text{ dB}$  であり、波長  $1.55\text{ }\mu\text{m}$  における実効断面積  $A_{\text{eff}}$  は  $55.6\text{ }\mu\text{m}^2$  である。

図11は、上述の第1～第13実施例それぞれに係る光ファイバの諸特性をまとめた表である。また、図12は、上述の第14～第22実施例それぞれに係る

光ファイバの諸特性をまとめた表である。これらの表に示されたように、第1～第22実施例に係る光ファイバは何れも、波長1.20μm～1.60μmの範囲に零分散波長が1つのみ存在し、その零分散波長は波長1.37μm～1.50μmの範囲に存在している。特に、第3～第4、第6～第9、第11～第14及び第17～第22実施例では、零分散波長は波長1.37μm～1.43μmの範囲内にあり、第2、第5、第15及び第16実施例では、零分散波長は波長1.45μmよりも大きくかつ1.55μm以下の範囲内にある。何れの実施例も、零分散波長における分散スロープの絶対値は0.10ps/nm<sup>2</sup>/km以下であり、カットオフ波長は1.3μm以下である。したがって、これら何れの光ファイバも、1.3μm波長帯及び1.55μm波長帯には零分散波長が存在しない一方、これら各波長帯域における分散も小さく抑えられたシングルモードであるので、複数の波長帯域を利用した光通信に適している。なお、波長1.55μmにおいて、第1、第2、第6、第13～第15及び第18～第22実施例は、波長1.55μmにおける分散スロープが0.06ps/nm<sup>2</sup>/km以下、特に第18～第22実施例はさらに低い分散スロープを有する。

また、第1～第22実施例に係る光ファイバは何れも、波長1.30μm～1.55μmの範囲において分散スロープが単調に変化しており、波長1.3μm及び波長1.55μmにおける分散の絶対値が12ps/nm/km以下である。したがって、これら何れの光ファイバも、1.3μm波長帯及び1.55μm波長帯における分散の絶対値が、従来の1.3μm波長帯に零分散波長を有する標準的なシングルモード光ファイバの波長1.55μm波長帯における分散値(17ps/nm/km程度)と比較して十分に小さい。仮に、光伝送システム全体として、上記標準的なシングルモード光ファイバの1.55μm波長帯における分散値(17ps/nm/km程度)まで許容可能であれば、第1～第22実施例それぞれに係る光ファイバは何れも、信号光波長帯域が1.2μm～1.7μmの範囲である光通信への利用に適している。

さらに、第1～第22実施例に係る光ファイバは何れも、直径3.2mmで巻かれたときの波長1.55μmにおける曲げ損失が、1ターン当たり0.5dB以下、特に、第1～第6、第11、第13～第17、第19及び第20実施例では係る曲げ損失は0.06dB以下であり、ケーブル化等に起因する損失増加を効果的に抑制できる点で好ましい。また、第1～第22実施例に係る光ファイバは何れも、波長1.55μmにおける実効断面積 $A_{eff}$ が4.5μm<sup>2</sup>以上、特に、第1、第3～第14及び第16～第22実施例の実効断面積 $A_{eff}$ は4.9μm<sup>2</sup>を越えており、従来の分散シフト光ファイバの実効断面積と比べて同等かそれ以上である。このため、当該光ファイバ中を伝搬する光の、単位断面積当たりの強度が小さくなるので、四光波混合等の非線形光学現象の発生が効果的に抑制される。

なお、図2B、図3～図10に示された光ファイバの屈折率プロファイル150～950は、上述の第13実施例を除き純シリカ（故意には不純物が添加されていないシリカ）の基準領域（クラッド領域120、あるいは該クラッド領域120がディプレストクラッド構造を有する場合には外側クラッド）の屈折率を基準とした比屈折率差の最大値が1%以下であって最小値が-0.5%以上である。第13実施例では、クラッド領域120にフッ素を添加することで、純シリカのコア領域とクラッド領域との屈折率の差を相対的に大きした構成を備えるが、この実施例においてもクラッド領域120に対するコア領域110の比屈折率差の最大値は1%以下である。高屈折率領域は、例えばGe元素が添加されることにより実現されるが、その比屈折率差は1%以下であるので、当該光ファイバの製造（不純物添加による屈折率制御）が比較的容易であり、また、伝送損失が小さくなる。一方、低屈折率領域は、例えばF元素が添加されることにより実現されるが、その比屈折率差は-0.5%以上であるので、この点でも当該光ファイバの製造は容易である。

図13は、第1実施例に係る光ファイバの波長に対する分散特性を示すグラフ

である。このグラフに示されたように、波長  $1.30 \mu\text{m} \sim 1.55 \mu\text{m}$  の範囲において分散スロープは単調に増加している。また、図 14 及び図 15 は、脱水処理が不十分な場合と十分な場合の第 1 実施例に係る光ファイバの、波長に対する伝送損失特性を示すグラフである。このグラフに示されたように、波長  $1.38 \mu\text{m}$ において OH 吸収に起因した伝送損失の増加が認められる。この図 14 に示されたような伝送損失特性を有する光ファイバでは、脱水処理が十分に行われておらず OH 基の含有量が多いので、OH 吸収に起因した伝送損失の増加は  $0.5 \text{ dB/km}$  程度である。一方、図 15 に示されたような伝送損失特性を有する光ファイバでは、脱水処理が十分に行われて OH 基の含有量が低減されているので、OH 吸収に起因した伝送損失の増加は  $0.01 \text{ dB/km}$  程度に抑えられている。なお、この波長帯域を信号光波長帯域として利用する場合には、零分散波長を  $1.45 \mu\text{m}$  よりも大きくかつ  $1.55 \mu\text{m}$  以下の範囲内に設定することもできる。第 2～第 12 及び第 14～第 22 実施例に係る光ファイバそれぞれの、波長に対する分散特性及び伝送損失特性も同様である。

また、図 16 は、脱水処理が不十分である第 13 実施例に光ファイバの、波長に対する伝送損失特性を示すグラフである。この第 13 実施例では、脱水処理が十分に行われていない場合、OH 吸収に起因した伝送損失の増加（波長  $1.38 \mu\text{m}$ ）は  $0.3 \text{ dB/km}$  である。ただし、この第 13 実施例の場合も、脱水処理が十分に行われれば、図 14 に示されたように波長  $1.38 \mu\text{m}$  における伝送損失の増加（波長  $1.38 \mu\text{m}$ ）を  $0.01 \text{ dB/km}$  以下に抑えられる。

なお、この発明に係る光ファイバは、上記各実施例に限定されるものではなく種々の変形が可能であり、例えば、この発明の範囲内において他にも設計が可能である。

図 17 A は、主に第 18～第 22 実施例について、波長  $1.55 \mu\text{m}$  における実効断面積  $A_{eff}$  と分散スロープとの関係を示すグラフである。なお、このグラフ中、P 1、P 5、P 7、P 9、P 10、P 18～P 22 は、それぞれ第 1、第

5、第7、第9、第10及び第18～第22実施例の実効断面積 $A_{eff}$ と分散スロープとの関係を示す点である。

このグラフからも分かるように、図6に示されたような屈折率プロファイルを有する光ファイバ（第18～第22実施例）の場合、波長1.55μmにおける分散スロープを特に低くすることができる。また、これら第18～第22実施例に係る光ファイバでは、波長1.55μmにおける実効断面積 $A_{eff}$ が49μm<sup>2</sup>よりも大きくなっている。

さらに、図17Bは、主な実施例について、波長1.55μmにおけるカットオフ波長 $\lambda_c$ と直径32mmで曲げられたときの1ターン当たりの曲げ損失との関係を示すグラフである。なお、このグラフにおいて、P1、P3、P4、P6、P7、P10、P14～P16は、第1、第3、第4、第6、第7、第10及び第14～第16実施例のカットオフ波長 $\lambda_c$ と曲げ損失との関係を示す図である。また、このグラフ中、斜線部分は図6に示された屈折率プロファイルと類似している屈折率プロファイルを有する従来の光ファイバについて、カットオフ波長 $\lambda_c$ と曲げ損失との関係を示す点が集中的にプロットされたエリアである。したがって、係るエリア（斜線部分）を避けるためには、すなわち、波長1.55μmにおいて、32mmでの曲げ損失を1.0dB/ターン、好ましくは0.06dB/ターン以下にするためには、カットオフ波長 $\lambda_c$ は1.05μm以上、さらには1.3μm以上であるのが好ましい。

次に、この発明に係る光伝送システムの各実施例について説明する。図18Aは、この発明に係る光伝送システムの一実施例の概略構成を示す図である。この図に示された光伝送システムは、送信器11、12、光伝送路21、22、合波器30、光ファイバ40、分波器50、光伝送路61、62、及び受信器71、72を備えている。

送信器11は、1.3μm波長帯の信号光（第1光）を出力し、光伝送路21は、送信器11から出力された1.3μm波長帯の信号光を合波器30に導くた

めの伝送媒体であって、例えば、1. 3  $\mu\text{m}$  波長帯に零分散波長を有する標準的なシングルモード光ファイバである。送信器12は、1. 55  $\mu\text{m}$  波長帯の信号光（第2光）を出力し、光伝送路22は、送信器12から出力された1. 55  $\mu\text{m}$  波長帯の信号光を合波器30に導くための伝送媒体であって、例えば、1. 55  $\mu\text{m}$  波長帯に零分散波長を有する分散シフト光ファイバである。

合波器30は、光伝送路21、22を伝搬してきた1. 3  $\mu\text{m}$  波長帯の信号光及び1. 55  $\mu\text{m}$  波長帯の信号光を合波し、この合波光を光ファイバ40へ出力する。光ファイバ40は、合波器30により合波された1. 3  $\mu\text{m}$  波長帯の信号光及び1. 55  $\mu\text{m}$  波長帯の信号光を分波器50に向けて伝送する。分波器50は、光ファイバ40を伝搬してきた1. 3  $\mu\text{m}$  波長帯の信号光及び1. 55  $\mu\text{m}$  波長帯の信号光を分波する。

上記光ファイバ40は、上述された構造を有する、この発明に係る光ファイバであって、波長1. 20  $\mu\text{m}$  ~ 1. 60  $\mu\text{m}$  の範囲に零分散波長が1つのみ存在し、その零分散波長は波長1. 37  $\mu\text{m}$  ~ 1. 50  $\mu\text{m}$  の範囲（好ましくは波長1. 37  $\mu\text{m}$  ~ 1. 43  $\mu\text{m}$  の範囲又は1. 45  $\mu\text{m}$  よりも大きく1. 50  $\mu\text{m}$  以下の範囲）にある。また、光ファイバ40において、該零分散波長における分散スロープの絶対値は0. 10  $\text{ps/nm}^2/\text{km}$  以下（好ましくは波長1. 55  $\mu\text{m}$  において0. 06  $\text{ps/nm}^2/\text{km}$  以下）である。また、より好ましい態様として、光ファイバ40は、波長1. 30  $\mu\text{m}$  ~ 1. 55  $\mu\text{m}$  の範囲において分散スロープは単調に変化しており、波長1. 3  $\mu\text{m}$  及び波長1. 55  $\mu\text{m}$  における分散の絶対値は、いずれも12  $\text{ps/nm}/\text{km}$  以下、直径3.2 mmで巻かれたときの波長1. 55  $\mu\text{m}$  における曲げ損失は、1ターン当たり0. 5 dB以下（好ましくは0. 06 dB以下）、波長1. 55  $\mu\text{m}$  における実効断面積A<sub>eff</sub>は4.5  $\mu\text{m}^2$ 以上（4.9  $\mu\text{m}^2$ よりも大）、あるいは、波長1. 38  $\mu\text{m}$  におけるOH吸収に起因した伝送損失の増加は0. 1 dB/km以下である。

光伝送路61は、分波器50によって分波された1. 3  $\mu\text{m}$  波長帯の信号光を

受信器 7 1 に導くための伝送媒体であって、例えば、1. 3  $\mu\text{m}$  波長帯に零分散波長を有する標準的なシングルモード光ファイバである。受信器 7 1 は、光伝送路 6 1 を伝搬してきた 1. 3  $\mu\text{m}$  波長帯の信号光を受信する。一方、光伝送路 6 2 は、分波器 5 0 により分波された 1. 55  $\mu\text{m}$  波長帯の信号光を受信器 7 2 に導くための伝送媒体であって、例えば、1. 55  $\mu\text{m}$  波長帯に零分散波長を有する分散シフト光ファイバである。受信器 7 2 は、光伝送路 6 2 を伝搬してきた 1. 55  $\mu\text{m}$  波長帯の信号光を受信する。

この実施例に係る光伝送システムによれば、送信器 1 1 から出力され光伝送路 2 1 を経て合波器 3 0 に到達した 1. 3  $\mu\text{m}$  波長帯の信号光と、送信器 1 2 から出力され光伝送路 2 2 を経て合波器 3 0 に到達した 1. 55  $\mu\text{m}$  波長帯の信号光とは、合波器 3 0 により合波され、この合波光が光ファイバ 4 0 を伝搬して分波器 5 0 に到達する。そして、分波器 5 0 に到達した合波光は、分波器 5 0 により 1. 3  $\mu\text{m}$  波長帯の信号光と 1. 55  $\mu\text{m}$  波長帯の信号光に分波される。分波された 1. 3  $\mu\text{m}$  波長帯の信号光は光伝送路 6 1 を経て受信器 7 1 に到達し、1. 55  $\mu\text{m}$  波長帯の信号光は光伝送路 6 2 を経て受信器 7 2 に到達する。

このように、この実施例の光伝送システムで用いられている光ファイバ 4 0 は、上述のように 1. 3  $\mu\text{m}$  波長帯及び 1. 55  $\mu\text{m}$  波長帯の双方において好適な光通信を実現する構造を備えているため、該光ファイバ 4 0 が適用された当該光伝送システムは大容量の通信を可能にする。

なお、この発明に係る光ファイバは、上記実施例に限定されるものではなく種々の変形が可能である。例えば、合波器 3 0 と分波器 5 0 との間に配置された伝送媒体である光ファイバ 4 0 は、図 18 B に示されたように、複数の光ファイバ 4 0 a ~ 4 0 c で構成されてもよい。

## 25 産業上の利用可能性

以上のようにこの発明によれば、当該光ファイバでは、OH 吸収に起因した伝

送損失の増加が認められる波長  $1.38 \mu\text{m}$  を含む波長  $1.37 \mu\text{m} \sim 1.50 \mu\text{m}$  の範囲、好ましくは波長  $1.37 \mu\text{m} \sim 1.43 \mu\text{m}$  又は波長  $1.45 \mu\text{m}$  よりも大きくかつ  $1.50 \mu\text{m}$  以下の範囲に唯一の零分散波長が有し、この波長範囲を挟む  $1.3 \mu\text{m}$  波長帯及び  $1.55 \mu\text{m}$  波長帯近傍に零分散波長は存在しない。したがって、これら波長帯域を信号光波長帯域と利用する場合、意図的な分散の発生により四光波混合等の非線形光学現象を効果的に抑制する。また、設定された零分散波長における分散スロープの絶対値は  $0.10 \text{ ps/nm}^2/\text{km}$  以下（好ましくは波長  $1.55 \mu\text{m}$  において  $0.06 \text{ ps/nm}^2/\text{km}$  以下）であるから、 $1.3 \mu\text{m}$  波長帯及び  $1.55 \mu\text{m}$  波長帯それそれにおける分散は均一化される。このような光ファイバを光伝送システムの伝送路に適用することにより、 $1.3 \mu\text{m}$  波長帯及び  $1.55 \mu\text{m}$  波長帯の双方において良好な光通信が可能になる。

## 請求の範囲

1. 波長  $1.20 \mu\text{m} \sim 1.60 \mu\text{m}$  の範囲内に零分散波長を 1 つのみ有する光ファイバであって、

前記零分散波長は波長  $1.37 \mu\text{m} \sim 1.50 \mu\text{m}$  の範囲内に存在するとともに、

前記零分散波長において正である分散スロープを有する光ファイバ。

2. 前記零分散波長は、波長  $1.37 \mu\text{m}$  以上  $1.43 \mu\text{m}$  以下の範囲に存在することを特徴とする請求項 1 記載の光ファイバ。

3. 前記零分散波長は、波長  $1.45 \mu\text{m}$  よりも大きくかつ  $1.50 \mu\text{m}$  以下の範囲に存在することを特徴とする請求項 1 記載の光ファイバ。

4. 前記分散スロープは、その絶対値が  $0.10 \text{ ps/nm}^2/\text{km}$  以下であることを特徴とする請求項 1 記載の光ファイバ。

5. 波長  $1.55 \mu\text{m}$  において、 $0.06 \text{ ps/nm}^2/\text{km}$  以下の分散スロープを有することを特徴とする請求項 1 記載の光ファイバ。

6. 波長  $1.30 \mu\text{m} \sim 1.55 \mu\text{m}$  の範囲において、前記分散スロープは単調に変化することを特徴とする請求項 1 記載の光ファイバ。

7. 波長  $1.3 \mu\text{m}$  における分散の絶対値と、波長  $1.55 \mu\text{m}$  における分散の絶対値は、いずれも  $1.2 \text{ ps/nm/km}$  以下であることを特徴とする請求項 1 記載の光ファイバ。

8. 波長  $1.3 \mu\text{m}$  における分散の絶対値と、波長  $1.55 \mu\text{m}$  における分散の絶対値は、いずれも  $6 \text{ ps/nm/km}$  以上であることを特徴とする請求項 7 記載の光ファイバ。

9. 波長  $1.55 \mu\text{m}$  において、直径  $3.2 \text{ mm}$  で巻かれたときに  $0.5 \text{ dB/turn}$  となる曲げ損失を有することを特徴とする請求項 1 記載の光ファイバ。

10. 波長  $1.55 \mu\text{m}$  において、直径  $3.2 \text{ mm}$  で巻かれたときに  $0.06$

d B／ターン以下となる曲げ損失を有することを特徴とする請求項 9 記載の光ファイバ。

11. 波長  $1.55 \mu\text{m}$ において、 $45 \mu\text{m}^2$ 以上の実効断面積を有することを特徴とする請求項 1 記載の光ファイバ。

5 12. 波長  $1.55 \mu\text{m}$ において、 $49 \mu\text{m}^2$ よりも大きい実効断面積を有することを特徴とする請求項 11 記載の光ファイバ。

13. 波長  $1.38 \mu\text{m}$ において、OH 吸収に起因した伝送損失の増加量は  $0.1 \text{dB/km}$ 以下であることを特徴とする請求項 1 記載の光ファイバ。

10 14. 純シリカの屈折率を基準とした比屈折率差の最大値が 1 %以下であつて最小値が  $-0.5\%$ 以上である屈折率プロファイルを有することを特徴とする請求項 1 記載の光ファイバ。

15. 純シリカの屈折率を基準とした比屈折率差の最小値が  $-0.2\%$ 以上である屈折率プロファイルを有することを特徴とする請求項 14 記載の光ファイバ。

16. 純シリカの屈折率を基準とした比屈折率差の最小値が  $-0.15\%$ よりも大きい屈折率プロファイルを有することを特徴とする請求項 15 記載の光ファイバ。

17.  $1.05 \mu\text{m}$ 以上のカットオフ波長を有することを特徴とする請求項 1 記載の光ファイバ。

20 18.  $1.30 \mu\text{m}$ 以上のカットオフ波長を有することを特徴とする請求項 17 記載の光ファイバ。

19. 所定軸に沿って伸びた所定の屈折率を有するコア領域と、前記コア領域の外周に設けられたクラッド領域とを備えたことを特徴とする請求項 1 記載の光ファイバ。

25 20. 前記クラッド領域は、前記コア領域の外周に接しつつ該コア領域より低い屈折率を有する内側クラッドと、該内側クラッドの外周に設けられ、該内側

クラッドよりも高くかつ該コア領域よりも低い屈折率を有する外側クラッドとを有することを特徴とする請求項 1 9 記載の光ファイバ。

21. 所定軸に沿って伸びた領域であって、所定の屈折率を有する第 1 コアと、該第 1 コアの外周に設けられかつ該第 1 コアよりも低い屈折率を有する第 2 コアとからなるコア領域と、

5 前記コア領域の外周に設けられたクラッド領域とを備えることを特徴とする請求項 1 記載の光ファイバ。

22. 前記クラッド領域は、前記第 2 コアの外周に接しつつ該第 2 コアよりも低い屈折率を有する内側クラッドと、該内側クラッドの外周に設けられ、該内側クラッドよりも高くかつ該第 2 コアよりも低い屈折率を有する外側クラッドとを有することを特徴とする請求項 2 1 記載の光ファイバ。

23. 所定軸に沿って伸びた領域であって、所定の屈折率を有する第 1 コアと、該第 1 コアの外周に設けられ該第 1 コアよりも低い屈折率を有する第 2 コアと、該第 2 コアの外周に設けられ該第 2 コアよりも高い屈折率を有する第 3 コアとからなるコア領域と、

10 前記コア領域の外周に設けられたクラッド領域とを備えたことを特徴とする請求項 1 記載の光ファイバ。

24. 前記第 2 コアの屈折率は、前記クラッド領域の屈折率と等しいかあるいは高いことを特徴とする請求項 2 3 記載の光ファイバ。

20 25. 前記クラッド領域は、前記第 3 コアの外周に接しつつ該第 3 コアよりも低い屈折率を有する内側クラッドと、該内側クラッドの外周に設けられ、該内側クラッドよりも高くかつ該第 3 コアよりも低い屈折率を有する外側クラッドとを有することを特徴とする請求項 2 3 記載の光ファイバ。

26. 前記第 2 コアの屈折率は、前記外側クラッドの屈折率と等しいかあるいは高いことを特徴とする請求項 2 5 記載の光ファイバ。

25 27. 所定軸に沿って伸びた領域であって、所定の屈折率を有する第 1 コア

と、該第1コアの外周に設けられ該第1コアよりも高い屈折率を有する第2コアとからなるコア領域と、

前記コア領域の外周に設けられたクラッド領域とを備えたことを特徴とする請求項1記載の光ファイバ。

5 28. 前記クラッド領域は、前記第2コアの外周に接しつつ該第2コアよりも低い屈折率を有する内側クラッドと、該内側クラッドの外周に設けられ、該内側クラッドよりも高くかつ該第2コアよりも低い屈折率を有する外側クラッドとを有することを特徴とする請求項27記載の光ファイバ。

10 29. 所定軸に沿って伸びた領域であって、所定の屈折率を有する第1コアと、該第1コアの外周に設けられ該第1コアよりも高い屈折率を有する第2コアと、該第2コアの外周に設けられ該第2コアよりも低い屈折率を有する第3コアと、該第3コアの外周に設けられ該第3コアよりも高い屈折率を有する第4コアとからなるコア領域と、

15 前記コア領域の外周に設けられ、前記第4コアよりも低い屈折率を有するクラッドとを備えたことを特徴とする請求項1記載の光ファイバ。

30. 1.  $3 \mu\text{m}$ 波長帯の第1光を出力する第1送信器と、

1.  $55 \mu\text{m}$ 波長帯の第2光を出力する第2送信器と、

前記第1送信器から出力された前記第1光と、前記第2送信器から出力された前記第2光を合波する合波器と、

20 一端が前記合波器に光学的に接続され、該合波器により合波された前記第1光及び前記第2光それを伝送する請求項1記載の光ファイバとを備えた光伝送システム。

31. 波長 $1.20 \mu\text{m} \sim 1.60 \mu\text{m}$ の範囲内に零分散波長を1つのみ有する光ファイバであって、

25 前記零分散波長は、波長 $1.37 \mu\text{m} \sim 1.50 \mu\text{m}$ の範囲内に存在するとともに、

前記零分散波長において正である分散スロープと、波長  $1.55 \mu\text{m}$ において、 $4.9 \mu\text{m}^2$ よりも大きい実効断面積とを有する光ファイバ。

32. 波長  $1.20 \mu\text{m} \sim 1.60 \mu\text{m}$  の範囲内に零分散波長を 1 つのみ有する光ファイバであって、

5 前記零分散波長は、波長  $1.45 \mu\text{m}$ よりも大きくかつ  $1.50 \mu\text{m}$ 以下の範囲内に存在するとともに、

前記零分散波長において正である分散スロープを有する光ファイバ。

33. 波長  $1.20 \mu\text{m} \sim 1.60 \mu\text{m}$  の範囲内に零分散波長を 1 つのみ有する光ファイバであって、

10 前記零分散波長は、波長  $1.37 \mu\text{m} \sim 1.50 \mu\text{m}$  の範囲内に存在するとともに、

前記零分散波長において正である分散スロープと、波長  $1.55 \mu\text{m}$ において、直径  $3.2 \text{ mm}$ で巻かれたときに  $0.06 \text{ dB/turn}$ 以下となる曲げ損失とを有する光ファイバ。

15 34. 波長  $1.20 \mu\text{m} \sim 1.60 \mu\text{m}$  の範囲内に零分散波長を 1 つのみ有する光ファイバであって、

前記零分散波長は、波長  $1.37 \mu\text{m} \sim 1.50 \mu\text{m}$  の範囲内に存在するとともに、

20 前記零分散波長において正である分散スロープと、 $1.05 \mu\text{m}$ 以上のカットオフ波長とを有する光ファイバ。

35. 前記カットオフ波長は、 $1.30 \mu\text{m}$ 以上であることを特徴とする請求項 34 記載の光ファイバ。

図1A

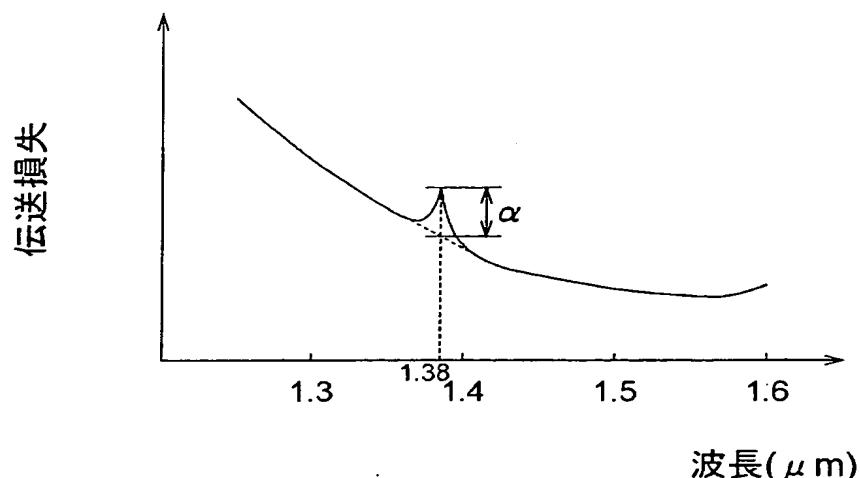


図1B

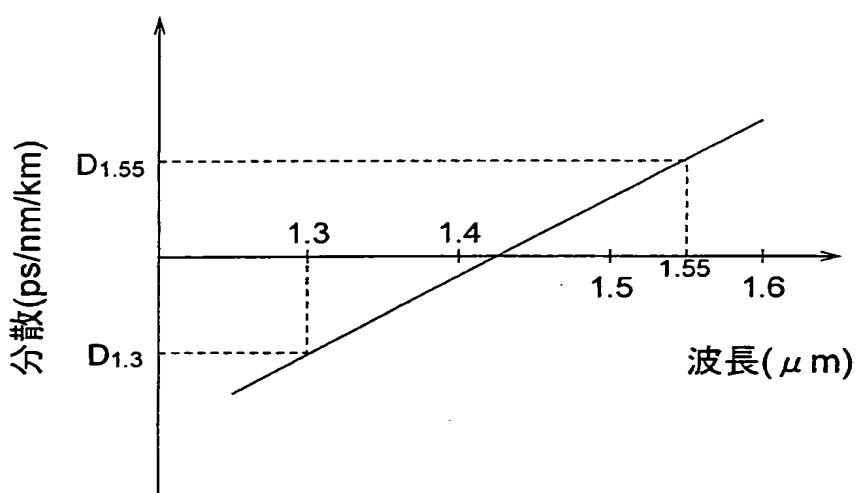


図2A

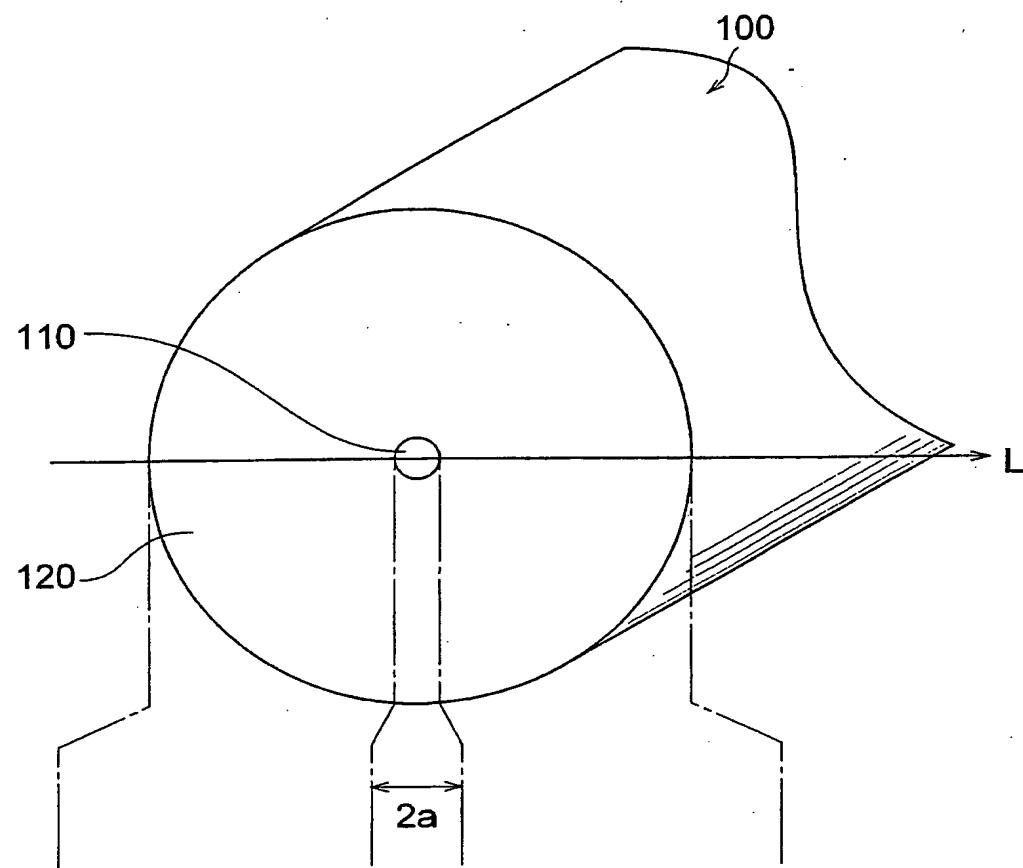


図2B

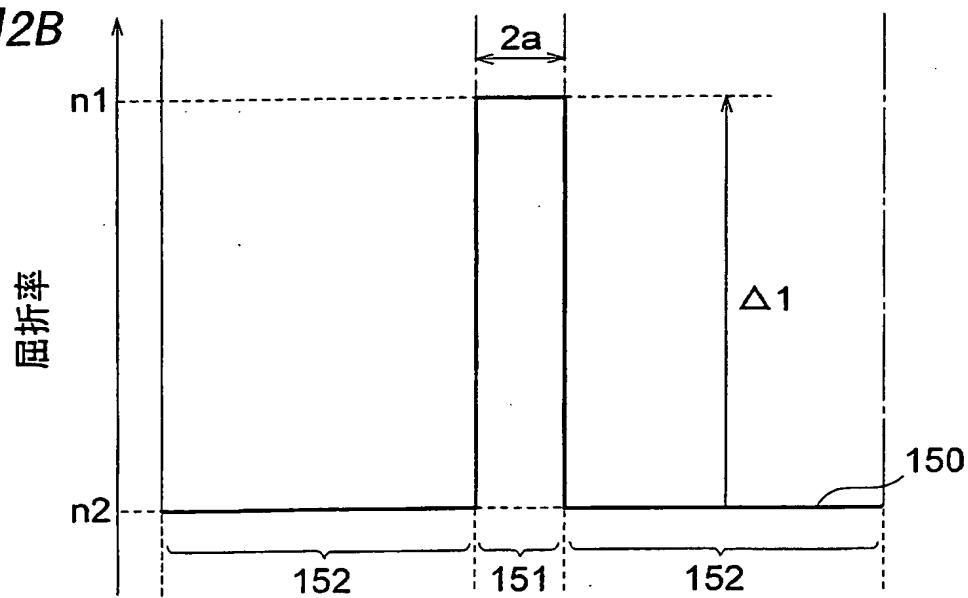


図3

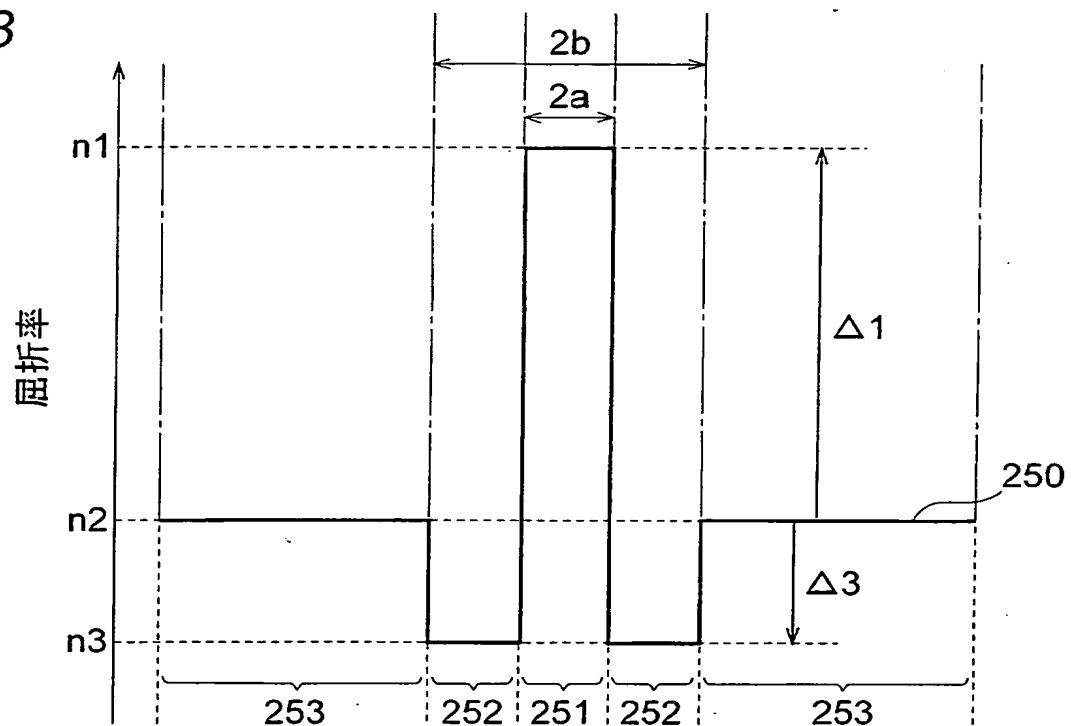


図4

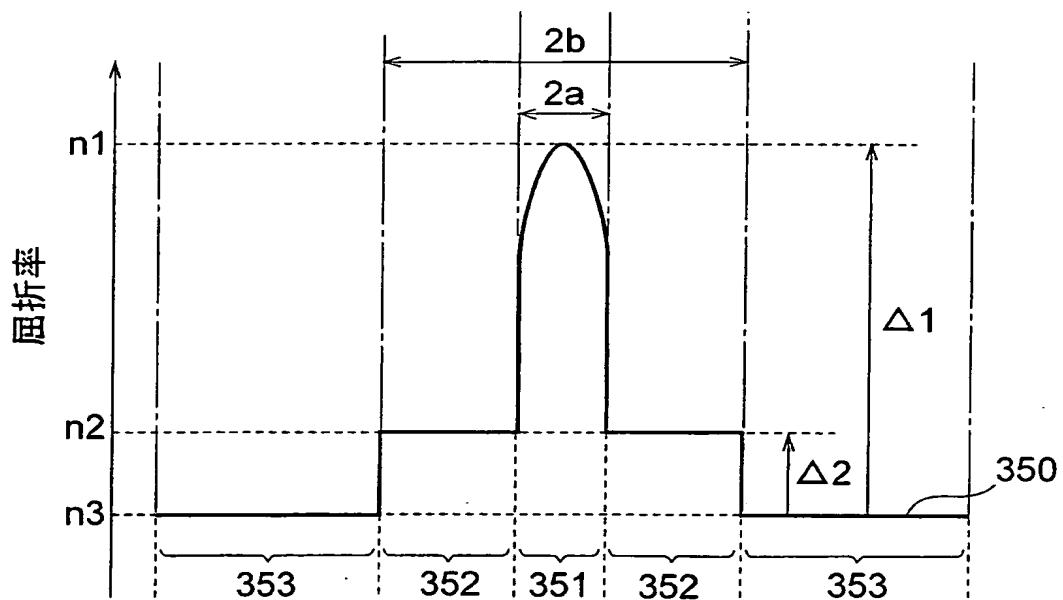


図5

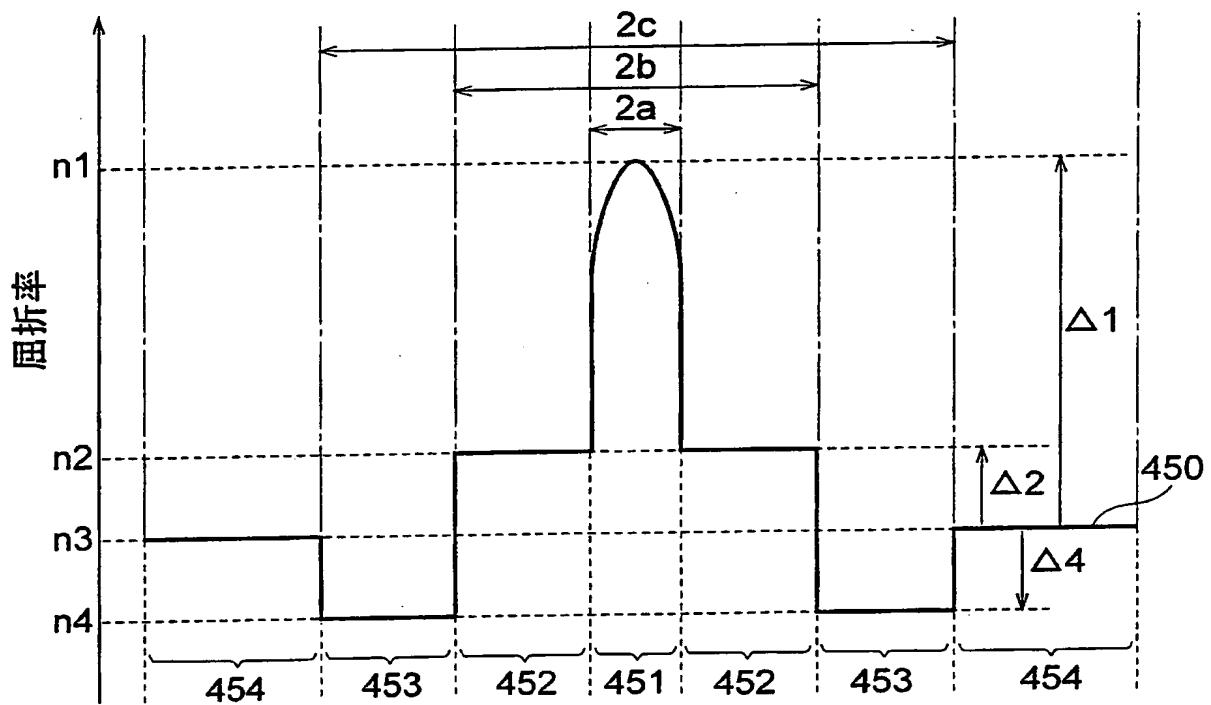


図6

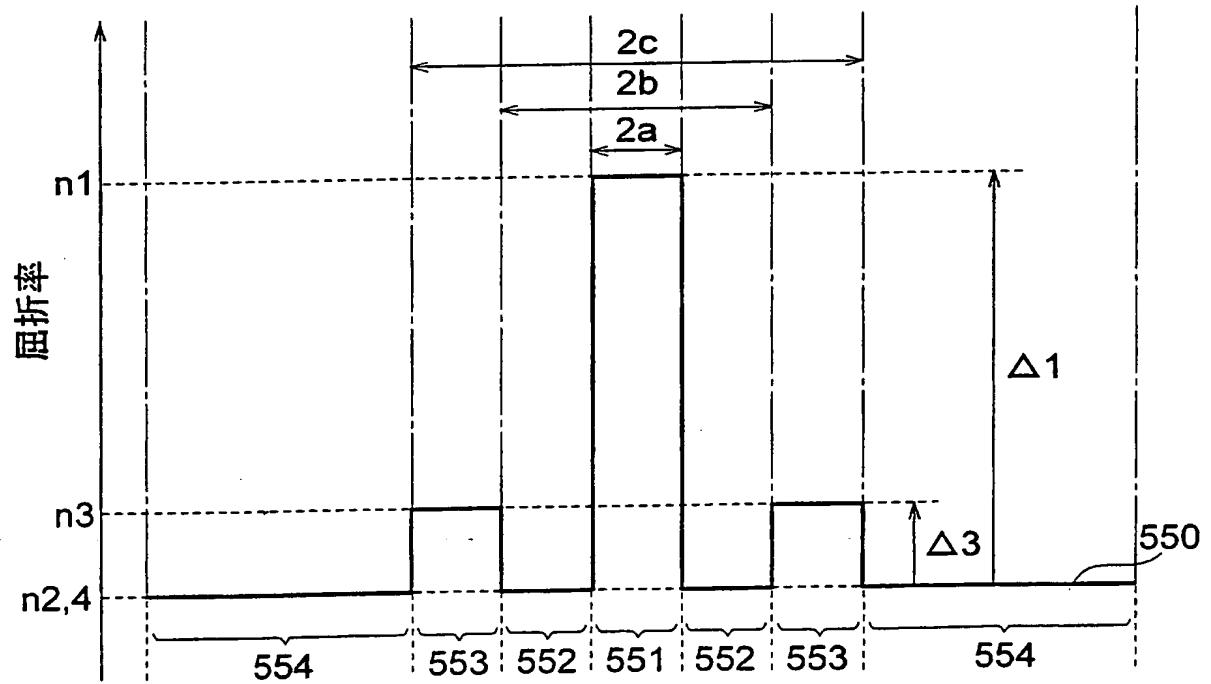


図7

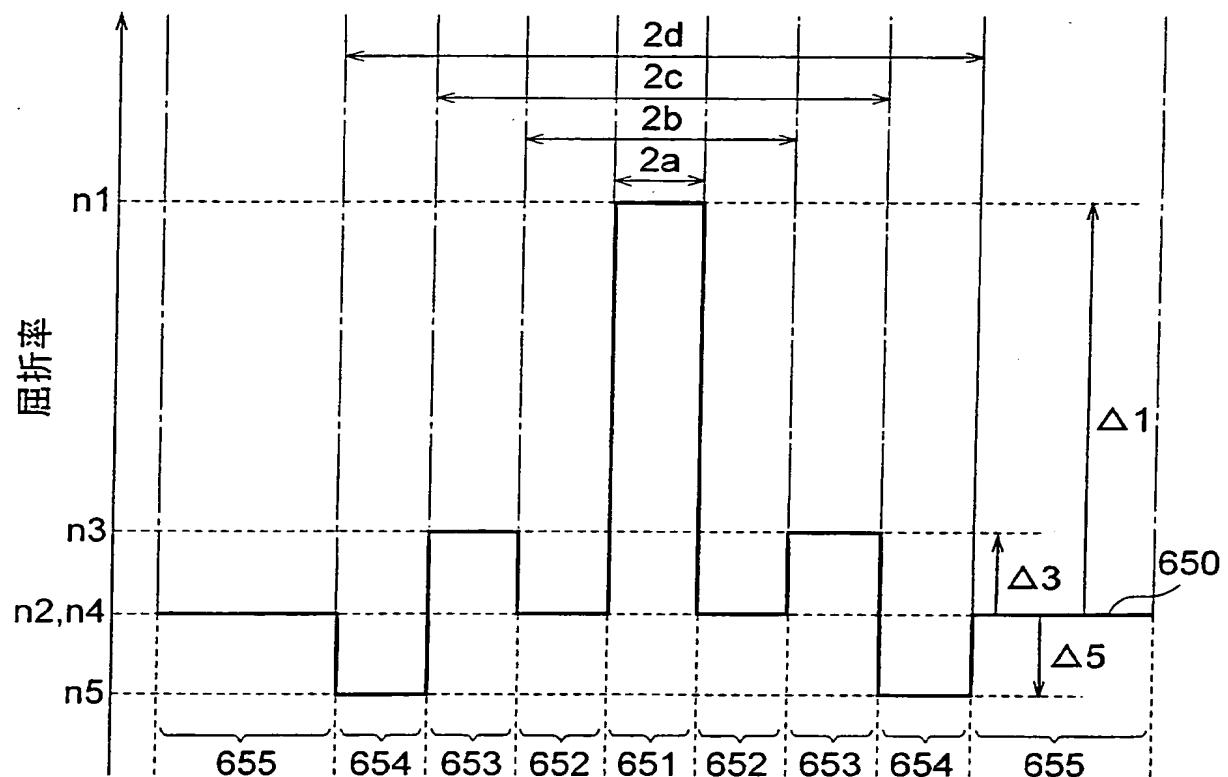


図8

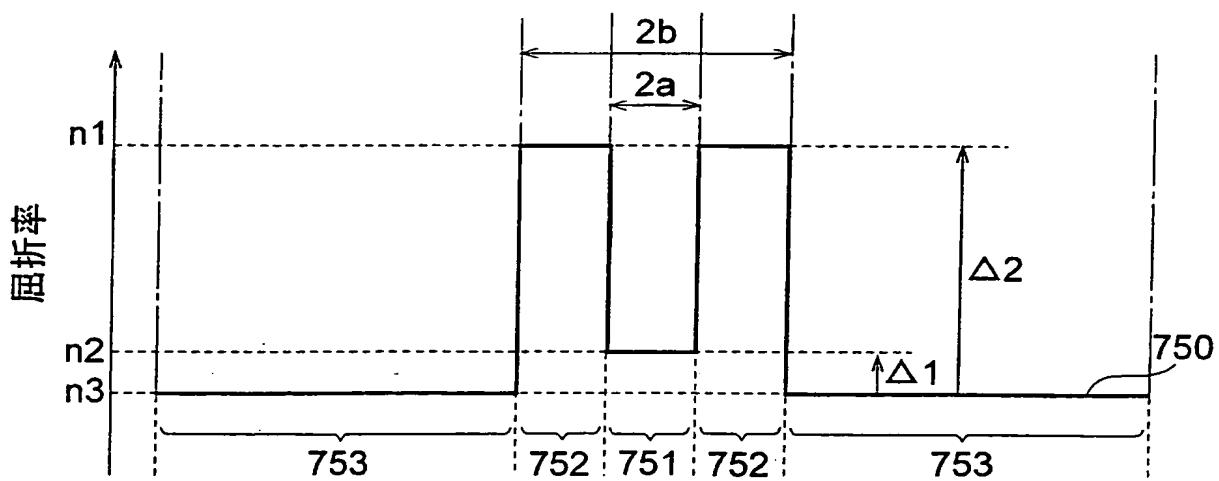


図9

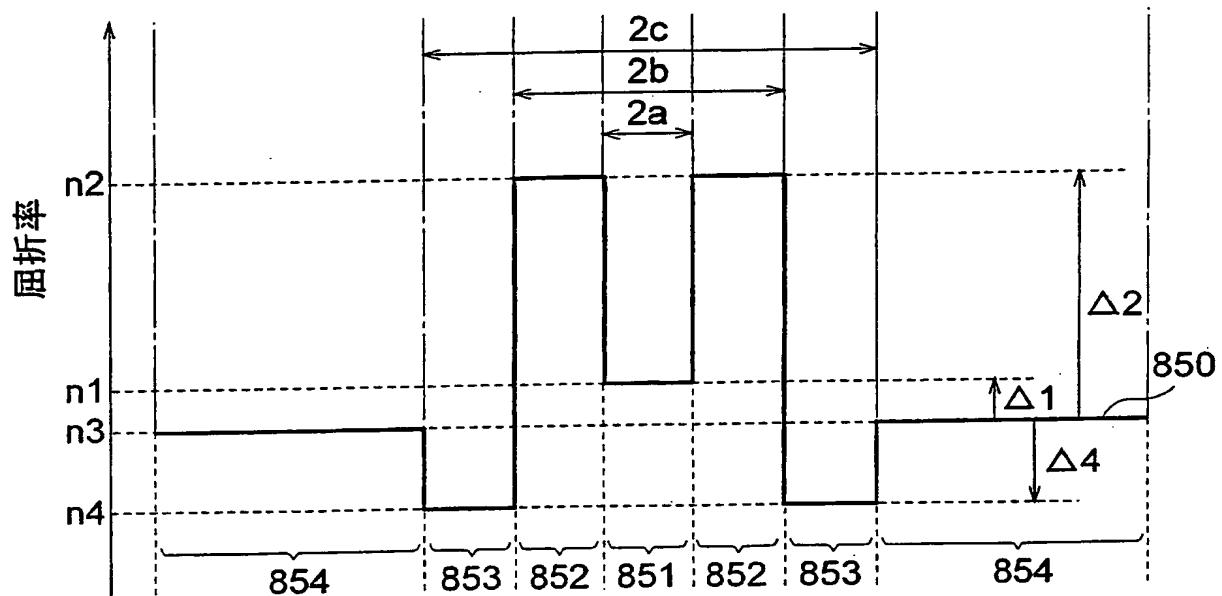


図10

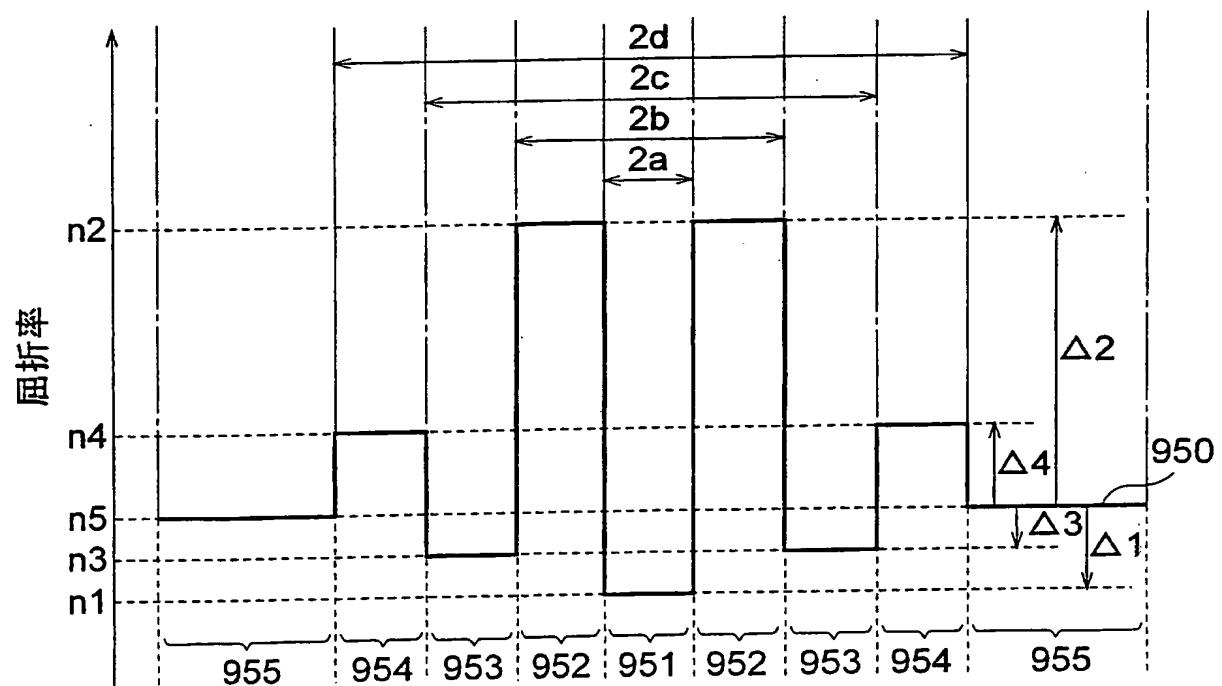


図11

|   | 第1<br>実施例 | 第2<br>実施例 | 第3<br>実施例 | 第4<br>実施例 | 第5<br>実施例 | 第6<br>実施例 | 第7<br>実施例 | 第8<br>実施例 | 第9<br>実施例 | 第10<br>実施例 | 第11<br>実施例 | 第12<br>実施例 | 第13<br>実施例 |
|---|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|------------|------------|------------|------------|
| 零分散波長<br>( $\mu$ m)                                     | 1.44      | 1.46      | 1.42      | 1.41      | 1.48      | 1.42      | 1.41      | 1.42      | 1.42      | 1.44       | 1.42       | 1.41       | 1.41       |
| 零分散波長における<br>分散スロープ (ps/nm <sup>2</sup> /km)            | 0.060     | 0.053     | 0.079     | 0.081     | 0.064     | 0.056     | 0.075     | 0.084     | 0.077     | 0.070      | 0.080      | 0.088      | 0.057      |
| 分散スロープ (ps/nm <sup>2</sup> /km)<br>波長1.55 $\mu$ mにおける   | 0.054     | 0.049     | 0.070     | 0.070     | 0.064     | 0.052     | 0.061     | 0.068     | 0.061     | 0.058      | 0.065      | 0.071      | 0.048      |
| カットオフ波長<br>( $\mu$ m)                                   | 0.96      | 0.93      | 1.19      | 1.15      | 1.24      | 1.23      | 1.10      | 1.17      | 1.22      | 1.18       | 1.16       | 1.22       | 1.04       |
| 分散<br>(ps/nm/km)  |           |           |           |           |           |           |           |           |           |            |            |            |            |
| 波長 1.20 $\mu$ m   | -18.5     | -18.5     | -20.8     | -20.3     | -20.3     | -16.4     | -20.1     | -22.9     | -21.6     | -21.5      | -21.8      | -22.5      | -15.7      |
| 波長 1.30 $\mu$ m   | -9.6      | -10.1     | -10.6     | -9.9      | -11.9     | -7.9      | -9.3      | -11.1     | -10.2     | -10.8      | -10.5      | -10.6      | -7.2       |
| 波長 1.45 $\mu$ m   | 0.6       | -0.5      | 2.1       | 3.1       | -1.9      | 1.6       | 3.0       | 2.4       | 2.2       | 0.7        | 2.3        | 3.4        | 2.2        |
| 波長 1.55 $\mu$ m   | 6.2       | 4.3       | 9.3       | 10.2      | 4.8       | 6.6       | 9.4       | 9.9       | 9.1       | 7.3        | 9.5        | 11.0       | 7.1        |
| 波長 1.60 $\mu$ m   | 8.8       | 6.7       | 12.8      | 13.7      | 8.0       | 9.2       | 12.4      | 13.2      | 12.1      | 10.1       | 12.7       | 14.5       | 9.4        |
| 波長1.55 $\mu$ mにおける<br>直徑32mmでの曲げ損失<br>(dB/ターン)          | 0.06      | 0.20      | 0.006     | 0.004     | 0.0008    | 0.02      | 0.3       | 0.2       | 0.2       | 0.03       | 0.005      | 0.4        | 0.04       |
| 波長1.55 $\mu$ mにおける<br>実効断面積<br>( $\mu$ m <sup>2</sup> ) | 49.1      | 47.2      | 63.6      | 62.0      | 53.9      | 57.1      | 67.3      | 79.1      | 73.5      | 59.6       | 62.6       | 92.7       | 52.2       |

図12

|  | 第14<br>実施例 | 第15<br>実施例      | 第16<br>実施例 | 第17<br>実施例 | 第18<br>実施例 | 第19<br>実施例 | 第20<br>実施例 | 第21<br>実施例 | 第22<br>実施例 |
|--|------------|-----------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| 零分散波長<br>( $\mu$ m)  | 1.41       | 1.46<br>(1.457) | 1.47       | 1.40       | 1.41       | 1.38       | 1.40       | 1.40       | 1.39       |
| 零分散波長における<br>分散スロープ (ps/mm <sup>2</sup> /km)                 | 0.065      | 0.060           | 0.065      | 0.071      | 0.058      | 0.065      | 0.059      | 0.057      | 0.052      |
| 分散スロープ (ps/mm <sup>2</sup> /km)<br>波長1.55 $\mu$ mにおける $\phi$ | 0.055      | 0.060           | 0.065      | 0.059      | 0.040      | 0.047      | 0.043      | 0.046      | 0.023      |
| カットオフ波長<br>( $\mu$ m)  | 1.25       | 1.07            | 1.37       | 1.78       | 1.75       | 1.52       | 1.59       | 1.44       | 1.66       |
| 分散<br>(ps/mm/km)   |            |                 |            |            |            |            |            |            |            |
| 波長 1.20 $\mu$ m  | -16.8      | -20.2           | -21.1      | -17.4      | -16.5      | -14.5      | -15.8      | -15.2      | -14.4      |
| 波長 1.30 $\mu$ m  | -7.7       | -11.1           | -12.1      | -7.7       | -7.5       | -5.4       | -6.9       | -6.5       | -5.7       |
| 波長 1.45 $\mu$ m  | 2.5        | -0.6            | -1.3       | 3.5        | 2.1        | 4.4        | 2.7        | 2.7        | 2.8        |
| 波長 1.55 $\mu$ m  | 8.5        | 5.7             | 5.1        | 9.7        | 6.8        | 9.4        | 7.4        | 7.5        | 5.9        |
| 波長 1.60 $\mu$ m  | 11.2       | 8.7             | 8.4        | 12.6       | 8.6        | 11.7       | 9.5        | 9.8        | 7.0        |
| 波長1.55 $\mu$ mにおける<br>直径32mmでの曲げ損失<br>(dB/ターン)               | 0.00002    | 0.00006         | 0.02       | 0.00002    | 0.2        | 0.07       | 0.001      | 0.1        | 0.3        |
| 波長1.55 $\mu$ mにおける<br>実効断面積<br>( $\mu$ m <sup>2</sup> )      | 50.1       | 45.3            | 62.6       | 60.3       | 57.1       | 64.5       | 50.4       | 64.4       | 55.6       |

図13

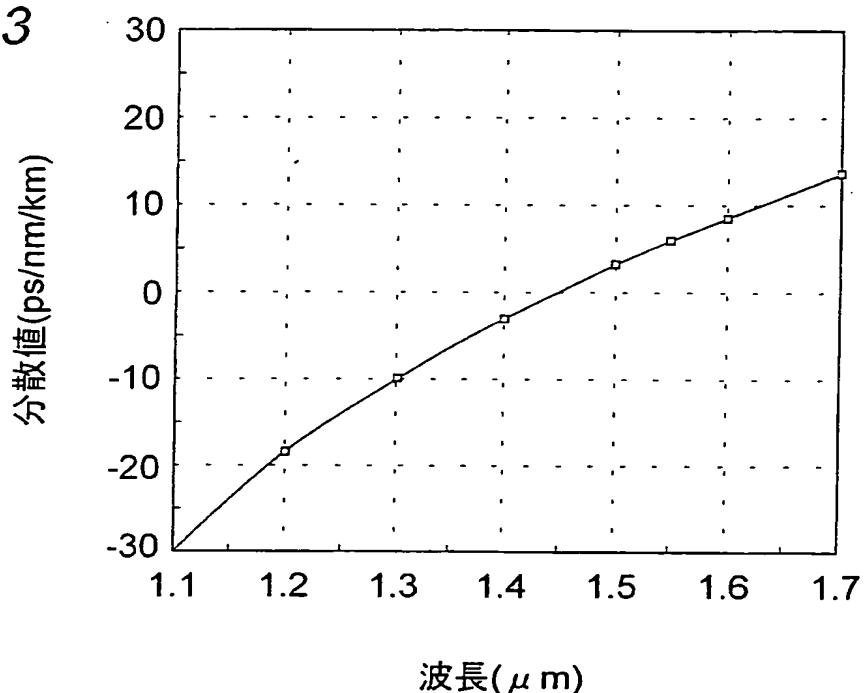


図14

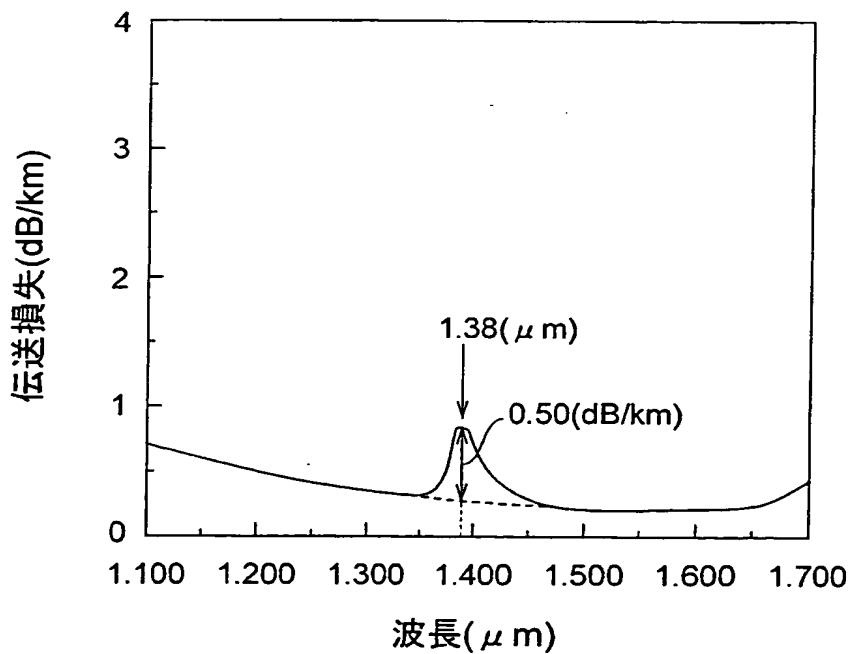


図15

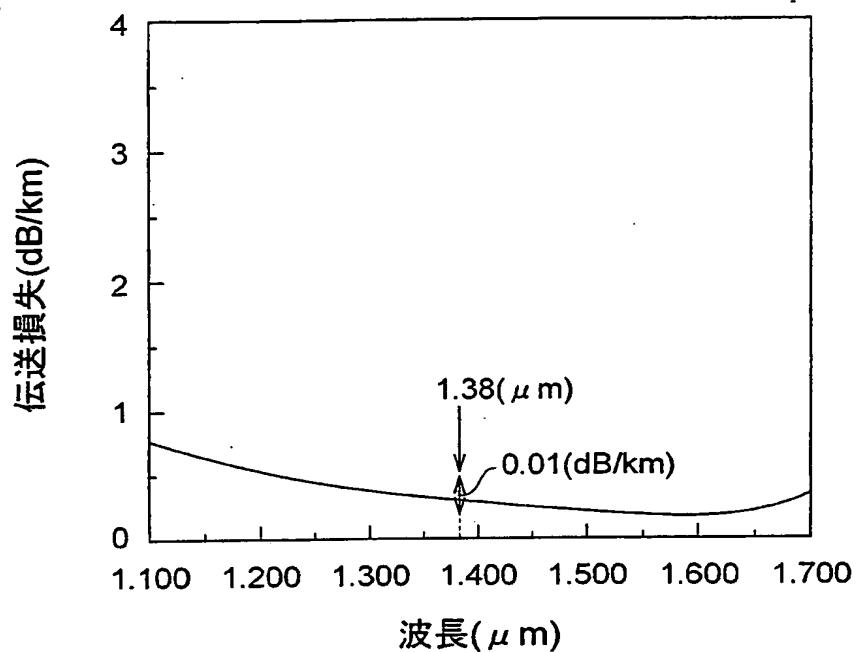


図16

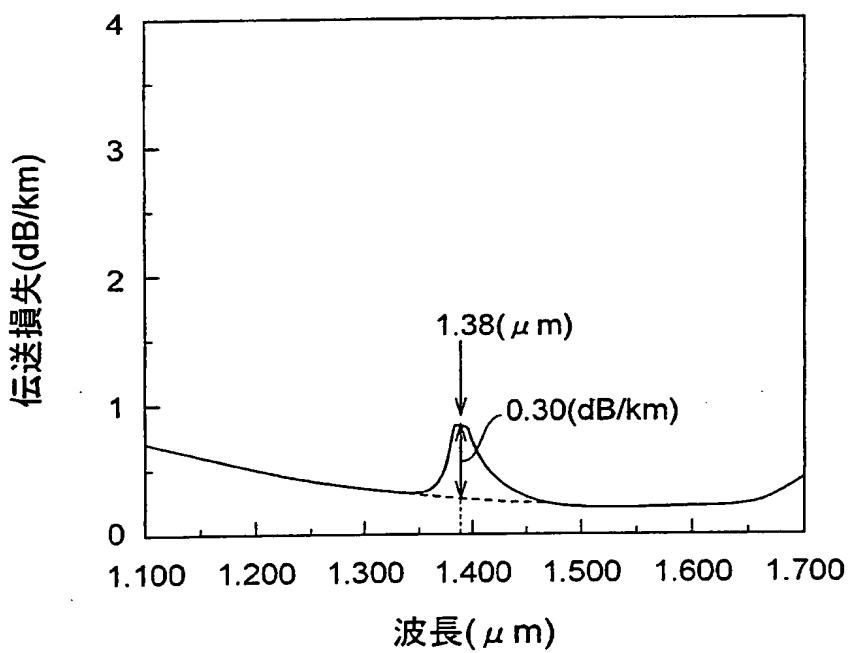


図17A

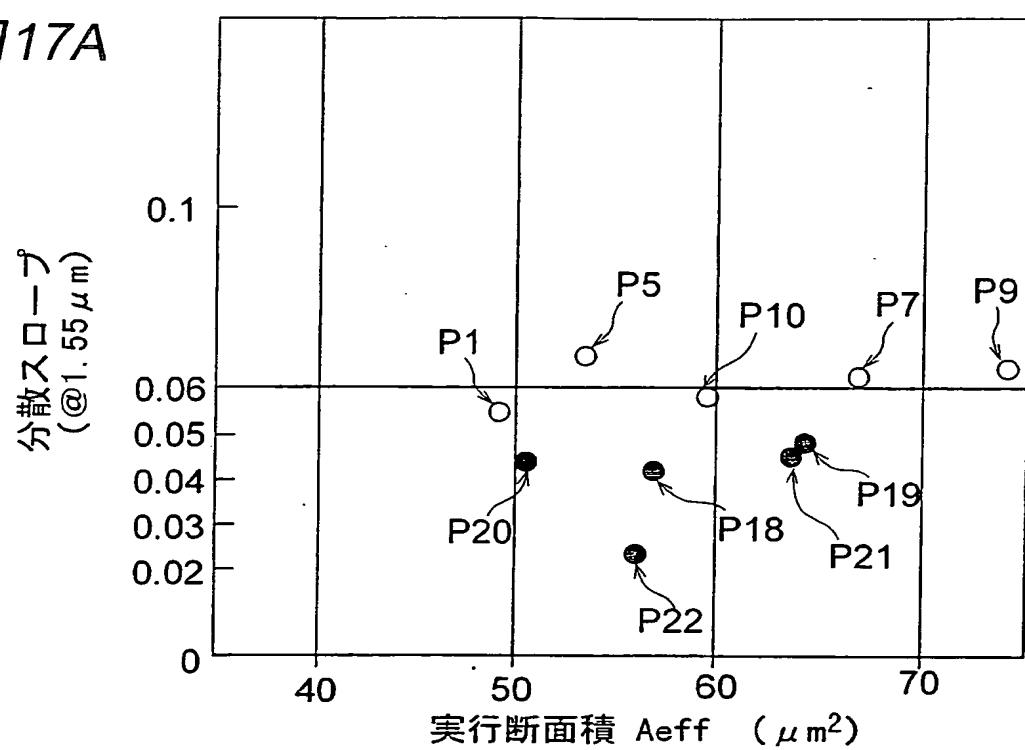


図17B

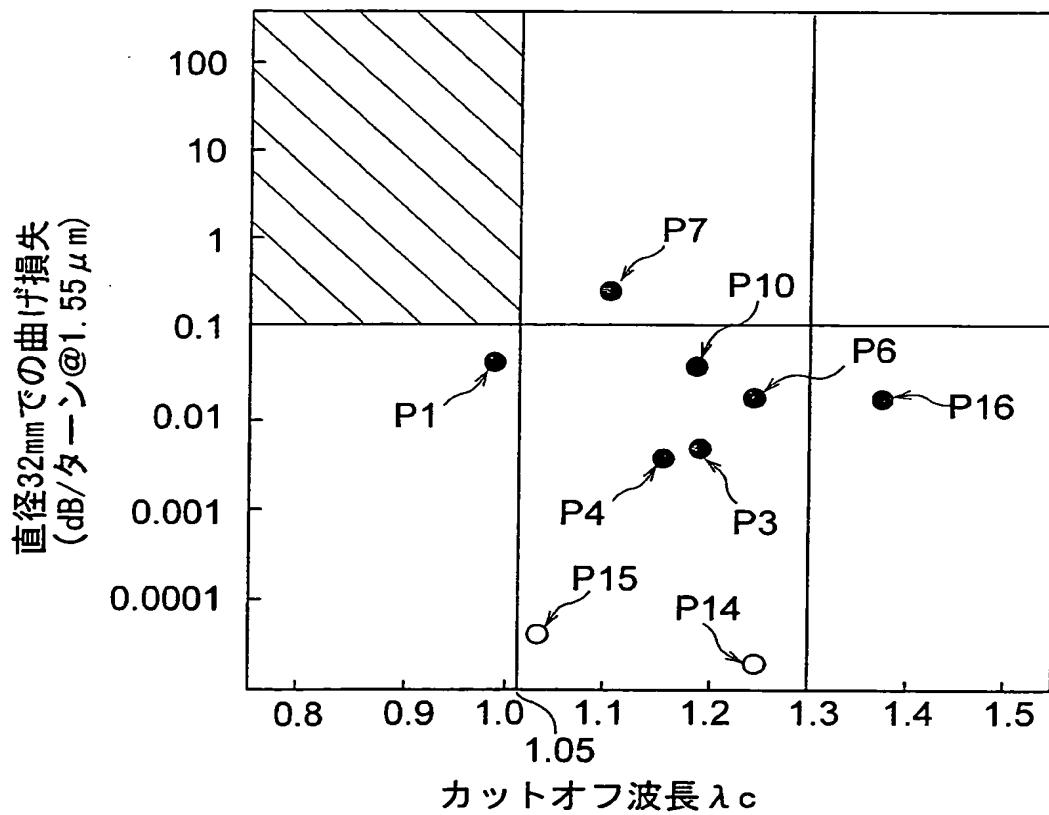


図18A

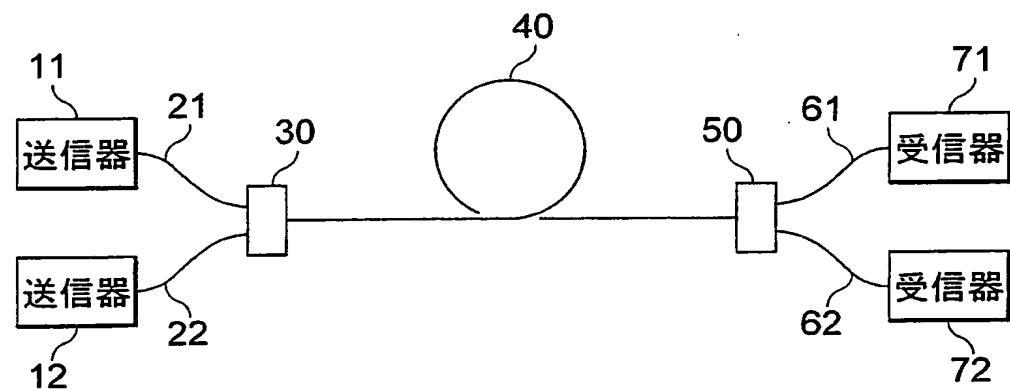
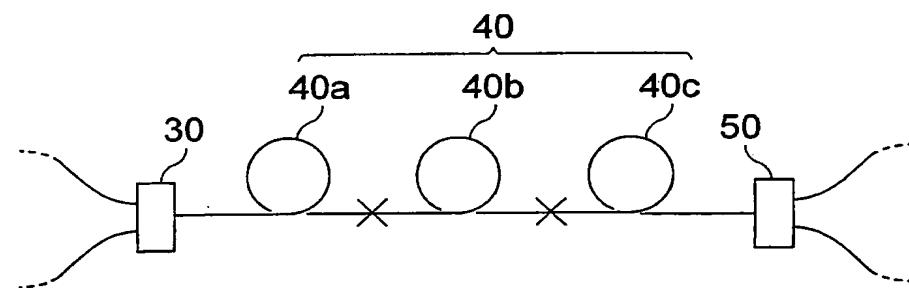


図18B



A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))  
Int. Cl' G 02 B 6/16

## B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))  
Int. Cl' G 02 B 6/00-6/54

## 最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報 1922-1996年  
日本国公開実用新案公報 1971-1999年  
日本国登録実用新案公報 1994-1999年  
日本国実用新案登録公報 1996-1999年

## 国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

## C. 関連すると認められる文献

| 引用文献の<br>カテゴリー* | 引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示   | 関連する<br>請求の範囲の番号                             |
|-----------------|---|--|
| X               | E P, 862069, A 2 (NIPPON TELEGRAPH AND TELEPHONE CORPORATION), 15. 8月. 1997 (15. 08. 97), 全文, 全図, 特に, 第9欄, 第25行-第53行, 第1, 13-15図 & J P, 10-300966, A&US, 5963700, A | 1, 3, 6, 9-12, 14-16, 19, 27 31-33           |
| Y               |   | 2, 4-5, 7-8, 13, 17-18, 20-26, 28, 29, 34-35 |
| A               |   | 30   |

C欄の続きにも文献が列挙されている。

パテントファミリーに関する別紙を参照。

## \* 引用文献のカテゴリー

「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの  
「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの  
「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)  
「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献  
「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

## の日の後に公表された文献

「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの  
「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの  
「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの  
「&」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

18. 02. 00

国際調査報告の発送日

07.03.00

国際調査機関の名称及びあて先  
日本国特許庁 (ISA/JP)  
郵便番号 100-8915  
東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)  
福田 耳念

印

2K

9514

電話番号 03-3581-1101 内線 3253

| C (続き) 関連すると認められる文献 |  | 関連する<br>請求の範囲の番号                 |
|---------------------|--|----------------------------------|
| 引用文献の<br>カテゴリー*     | 引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示  |                                  |
| Y                   | BHAGAVATULA, V. A. ; "Dispersion-shifted single-mode fiber for high-bit-rate and multiwavelength systems": OFC '95 Technical Digest, ThH1, pp. 259-260.<br>特に、第1図、表1参照 | 4-5, 7-8,<br>17-18, 27,<br>34-35 |
| Y                   | U.S., 5732178, A (Sumitomo Electric Industries, Ltd.), 24. 3月. 1998 (24. 03. 98), 第5欄、第45行-第61行、第1図、第10図<br>& J P, 9-211249, A   | 9-10, 21, 33                     |
| Y                   | U.S., 5822488, A (Sumitomo Electric Industries, Ltd.), 13. 10月. 1998 (13. 10. 98)<br>& J P, 9-159856, A  | 9-10, 20-29,<br>33               |
| Y                   | E P, 851245, A2 (Sumitomo Electric Industries, Ltd.), 1. 7月. 1998 (01. 07. 98)<br>& J P, 10-239550, A&CA, 2225889, A<br>& TW, 356531, A&KR, 98064539, A                | 9-10, 20-29,<br>33               |
| Y                   | E P, 656326, A2 (AT&T Corp.), 7. 6月. 1995 (07. 06. 95)<br>& J P, 7-206462, A&US, 5397372, A<br>& CA, 2118351, A&DE, 69413181, E  | 13                               |
| Y                   | J P, 10-53429, A (住友電気工業株式会社), 24. 2月. 1998 (24. 02. 98) (ファミリーなし)   | 13                               |
| A                   | E P, 604787, A1 (Corning Inc.), 6. 7月. 1994 (06. 07. 94)<br>& J P, 6-235839, A&AU, 5262993, A  | 17-18, 34-35                     |
| A                   | 西村正幸, 「波長多重用光ファイバー」; 0 plus E, Vol. 19, No. 1 (通巻第216号), 11月. 1997, (日本), (株) 新技術コミュニケーションズ発行, pp. 143-148<br>特に、第146頁、第2図   | 21-29                            |
| P, A                | E P, 887670, A2 (LUCENT TECHNOLOGIES INC.), 30. 12月. 1998 (30. 12. 98)<br>& AU, 9871965, A&CA, 2240220, A<br>& J P, 11-1171575, A&CN, 1221709, A                       | 13                               |

## 第I欄 請求の範囲の一部の調査ができないときの意見（第1ページの2の続き）

法第8条第3項（PCT17条(2)(a)）の規定により、この国際調査報告は次の理由により請求の範囲の一部について作成しなかった。

1.  請求の範囲 \_\_\_\_\_ は、この国際調査機関が調査をすることを要しない対象に係るものである。つまり、
2.  請求の範囲 \_\_\_\_\_ は、有意義な国際調査をすることができる程度まで所定の要件を満たしていない国際出願の部分に係るものである。つまり、
3.  請求の範囲 \_\_\_\_\_ は、従属請求の範囲であってPCT規則6.4(a)の第2文及び第3文の規定に従って記載されていない。

## 第II欄 発明の単一性が欠如しているときの意見（第1ページの3の続き）

次に述べるようにこの国際出願に二以上の発明があるとこの国際調査機関は認めた。

請求の範囲1-35に記載された発明に共通する事項は、請求の範囲1に記載の事項であるところ、この請求の範囲1に記載の事項は、EP, 862069, A2 (NIPPON TELEGRAPH AND TELEPHONE CORPORATION), 15. 8月. 1997 (15. 08. 97), 第9欄, 第29行-第37行, 第14図に開示されているから、先行技術に対して何の貢献も果たしていない。

したがって、上記共通する事項は、PCT規則13.2の第2文の意味における「特別な技術的特徴」とはなり得ない。その結果として、請求の範囲1-34に記載された発明は、単一性の要件を満たしていない。

1.  出願人が必要な追加調査手数料をすべて期間内に納付したので、この国際調査報告は、すべての調査可能な請求の範囲について作成した。
2.  追加調査手数料を要求するまでもなく、すべての調査可能な請求の範囲について調査することができたので、追加調査手数料の納付を求めなかった。
3.  出願人が必要な追加調査手数料を一部のみしか期間内に納付しなかったので、この国際調査報告は、手数料の納付のあった次の請求の範囲のみについて作成した。
4.  出願人が必要な追加調査手数料を期間内に納付しなかったので、この国際調査報告は、請求の範囲の最初に記載されている発明に係る次の請求の範囲について作成した。

## 追加調査手数料の異議の申立てに関する注意

- 追加調査手数料の納付と共に出願人から異議申立てがあつた。
- 追加調査手数料の納付と共に出願人から異議申立てがなかつた。